

UNIVERSIDADE FEDERAL DA PARAÍBA
CENTRO DE TECNOLOGIA
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA MECÂNICA
CURSO DE GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA MECÂNICA

ROBSON GUIMARÃES FEITOSA DE MACÊDO

SISTEMA DE MANUTENÇÃO E GERENCIAMENTO DE FROTAS:
UM MODELO PARA EMPRESAS MINERADORAS

JOÃO PESSOA – PB
2018

ROBSON GUIMARÃES FEITOSA DE MACÊDO

**SISTEMA DE MANUTENÇÃO E GERENCIAMENTO DE FROTAS:
UM MODELO PARA EMPRESAS MINERADORAS**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado ao Curso de Engenharia Mecânica da Universidade Federal da Paraíba, como requisito parcial para a obtenção do grau de Engenheiro Mecânico.

Orientador: Profº. Me. Virgílio Mendonça da Costa e Silva.

JOÃO PESSOA – PB
2018

M141s Macêdo, Robson Guimarães Feitosa de.

Sistema de manutenção e gerenciamento de frotas: um modelo para empresas mineradoras / Robson Guimarães Feitosa de Macêdo. - João Pessoa, 2018.

78 f. : il.

Orientação: Virgílio Mendonça da Costa e Silva.
Monografia (Graduação) - UFPB/CT.

1. Sistema de manutenção. 2. Modelo de gestão. 3. Manutenção. 4. Frotas. 5. Mineração. I. Silva, Virgílio Mendonça da Costa e. II. Título.

UFPB/BC

ROBSON GUIMARÃES FEITOSA DE MACÊDO

**SISTEMA DE MANUTENÇÃO E GERENCIAMENTO DE FROTAS:
UM MODELO PARA EMPRESAS MINERADORAS**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado ao Curso de Engenharia Mecânica da Universidade Federal da Paraíba, como requisito parcial para a obtenção do grau de Engenheiro Mecânico.

João Pessoa, _____ de _____ de 2018.

BANCA EXAMINADORA

Profº. Me. Virgílio Mendonça da Costa e Silva - UFPB
Orientador

Profº. Drº. Rafael Evaristo Caluête - UFPB
Coordenador do Curso de Engenharia Mecânica

Profª. Drª. Mariana Moura Nóbrega - UFPB
Examinadora convidada

DEDICATÓRIA

Dedico este trabalho aos meus pais. Primeiramente, meu pai celeste, pois só Ele é digno de toda honra, glória e louvor, além Dele ser o meu refúgio e sustento. E também ao meu pai terreno Roberto Macêdo, *in memória*, que mesmo a vida nos separando tão cedo, marcou minhas lembranças de forma única.

AGRADECIMENTOS

Primeiramente, ao Deus da minha vida que além de cuidar, acrescenta-me força e esperança. Mesmo diante das minhas falhas, Ele se mantém fiel. Quantos momentos durante o curso Ele foi o meu socorro e auxílio. Tenho absoluta certeza que se Ele não estivesse à frente desse projeto esse momento não seria possível.

A toda minha família, em especial minha mãe Josy e vovó Nete, por todo amor, educação, comprometimento e motivação. Essa vitória também as pertence, pois essa jornada não se iniciou nesta graduação, mas sim no meu primeiro “A” na escola, e desde lá fui muito bem acompanhado, seja com amor, ensinamentos, financeiramente e o mais importante, as orações, que certamente moveram o coração do Senhor. Por esses e por tanto mais motivos que não foram ditos aqui, meu muito obrigado e minha gratidão eterna.

Aos amigos da Elizabeth Cimentos, em especial Gleydson, Lamartine, Diêgo, Daniel, Thalita e Gabriel.

Aos amigos da Elizabeth Mineração, tanto os da produção como os da manutenção mecânica. Em especial, um grande professor e amigo que este início de profissão me deu, César Romero, coordenador da Oficina de Máquinas pesadas, o qual me passou não somente ensinamentos profissionais, mas também para a vida. E ao meu amigo Wagner, o estagiário da mineração, que muito me fez rir e me apresentou a fascinante área da Mineração, onde iniciei o contato com a manutenção de equipamentos móveis.

Aproveito também para agradecer à Universidade Federal da Paraíba pela excelência no ensino e aos muitos professores que contribuíram para minha formação acadêmica e profissional. Aos grandes amigos de curso: Anderson, André, Augusto, Bruno, Ed Pascoal, Fagner, Marcos Gonçalves e Tarciso. Foram muitos dias de lutas, finais de semana estudando na Universidade, noites em claro, mas no fim valeu muito a pena.

E de forma mais que especial, que durante todos os anos da graduação me ajudou, compreendeu, motivou, casou e passou a somar comigo, minha amada esposa Eduarda Rossane. Que por muitas vezes adormeceu no sofá enquanto eu estudava, e dizendo: ‘Só mais um minuto!’; e esse minuto viravam horas, mas mesmo assim continuava ali do meu lado. Eu sabia que olhar para ela renovava minhas forças e alegrava meu coração. Muito obrigado, amor, essa vitória também é sua.

RESUMO

Gerenciar com eficiência os recursos e fluxo de informações em um Sistema produtivo é essencial quando se almeja competitividade, ou seja, produtos de qualidade ao menor custo, favorecendo desta forma permanência no mercado. A variedade e quantidade de produtos são crescentes, visando agradar aos consumidores, mas esta condição influencia também no crescimento dos equipamentos necessários para alcançar a produção. Neste universo, encontra-se o Sistema de manutenção com responsabilidade de manter e reparar itens que participam do processo produtivo. Em empresas que utilizam veículos como meios de produção, os desafios enfrentados pela Manutenção são ainda mais potencializados, devido às características operacionais e influências externas, tais como: condição climática, solo e relevo, operador etc. Dos setores produtivos que fazem uso de equipamentos móveis, abordaremos o de Mineração. Logo, o objetivo deste trabalho é estruturar um modelo de Sistema de manutenção e elaborar um Modelo de gestão para frotas de mineração baseado nas metodologias de gerenciamento TPM - *Total Productive Maintenance* (Manutenção Produtiva Total) e RCM - *Reliability Centered Maintenance* (Manutenção Centrada na Confiabilidade). Para isso foram adaptados conceitos da manutenção industrial juntamente com os da manutenção de frotas de transporte urbano contidos em artigos científicos, dissertações e materiais bibliográficos. Para a elaboração do estudo houve a necessidade de vivenciar na prática o dia a dia de um Sistema de manutenção, assim, uma pesquisa de campo foi realizada com objetivo de determinar as necessidades e desafios enfrentados pelo Sistema. Também é meta do estudo abordar a Manutenção como função estratégica e apresentar como, através do Modelo desenvolvido, são produzidos indicadores auxiliares ao processo de tomada de decisão, que objetiva levar a organização a um posicionamento mais competitivo.

Palavras-chave: Sistema de manutenção. Modelo de gestão. Manutenção. Frotas. Mineração.

ABSTRACT

Effectively managing the resources and flow of information in a productive system is essential when competitiveness is sought, that is, quality products at the lowest cost, thus favoring permanence in the market. The variety and quantity of products are increasing in order to please consumers, but this condition also influences the growth of the equipment needed to reach production. In this universe, is the Maintenance System with responsibility to maintain and repair items that participate in the production process. In companies that use vehicles as means of production, the challenges faced by Maintenance are even more potent, due to the operational characteristics and external influences, such as: climatic condition, soil and relief, operator, etc. Of the productive sectors that make use of mobile equipment, we will approach the one of Mining. Therefore, the objective of this work is to structure a Maintenance System model and to elaborate a Management Model for mining fleets based on TPM (Total Productive Maintenance) and RCM (Reliability Centered Maintenance) management methodologies. For this, concepts of industrial maintenance along with the maintenance of urban transportation fleets contained in scientific articles, dissertations and bibliographic materials were adapted. For the elaboration of the study, it was necessary to experience in practice the day to day of a Maintenance System, thus, a field survey was carried out with the purpose of determining the needs and challenges faced by the System. It is also the goal of the study to approach Maintenance as a strategic function and to present how, through the developed Model, indicators are produced that are auxiliary to the decision-making process, which aims to lead the organization to a more competitive position.

Keywords: Maintenance system. Management model. Maintenance. Fleets. Mining.

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO	14
1.1 CONSIDERAÇÕES INICIAIS	14
1.2 OBJETIVOS	16
1.2.1 Objetivo geral	16
1.2.2 Objetivos específicos.....	16
1.3 JUSTIFICATIVA	16
2. METODOLOGIA	18
3. FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA	20
3.1 CONCEITO DE MANUTENÇÃO	20
3.1.1 Evolução da Manutenção.....	20
3.2 TIPOS DE MANUTENÇÃO	23
3.2.1 Manutenção corretiva não planejada (Emergencial).....	23
3.2.2 Manutenção corretiva planejada	23
3.2.3 Manutenção baseada no tempo (Preventiva)	24
3.2.4 Manutenção baseada na condição (Preditiva)	24
3.2.5 Manutenção detectiva	25
3.2.6 Engenharia de manutenção	25
3.3 SISTEMAS DE MANUTENÇÃO	26
3.4 INDICADORES DE MANUTENÇÃO	28
3.4.1 <i>Benchmark e benchmarking</i>	29
3.4.2 Mantenabilidade	30
3.4.2.1 Fatores de manutenção	31
3.4.2.2 Fatores Humanos	34
3.4.2.3 Fatores logísticos	35
3.4.3 Disponibilidade	36
3.4.3.1 Disponibilidade Intrínseca	36
3.4.3.2 Disponibilidade Alcançada	39
3.4.3.3 Disponibilidade Operacional.....	40
3.4.4 Confiabilidade	41
3.4.4.1 Taxa de falha.....	42
3.4.4.2 Densidade de falhas e densidade acumulada de falhas	45

3.5	METODOLOGIAS DE GERENCIAMENTO DA MANUTENÇÃO.....	49
3.5.1	Manutenção como função estratégica.....	49
3.5.2	Manutenção Produtiva Total (TPM).....	51
3.5.3	Manutenção Centrada na Confiabilidade (RCM).....	56
3.5.3.1	Taxa de falha e Política de manutenção.....	61
4.	DESENVOLVIMENTO DO MODELO	62
4.1	O SISTEMA DE MANUTENÇÃO.....	62
4.2	O MODELO DE GESTÃO	64
4.2.1	Módulos de entrada do Modelo de Gestão.....	67
4.2.2	Módulos de saídas do Modelo de Gestão.....	67
4.2.3	Indicadores do Sistema de Manutenção.....	68
4.3	ITENS QUE REQUEREM CUIDADOS ESPECIAIS	71
4.4	DESVIOS EM SISTEMAS DE MANUTENÇÃO	72
5.	CONCLUSÃO	74
	REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	76

LISTA DE FIGURAS

Figura 3.1 - Relação entre indicadores de Gestão e Funcionais	29
Figura 3.2 - Efeito iceberg.....	34
Figura 3.3 - Relação de tempos de um equipamento	37
Figura 3.4 - Alternância de estado operacional de um veículo.....	37
Figura 3.5 - Modelos de falha combinados “Curva da banheira”	43
Figura 3.6 - Os seis perfis de modelos de falhas	44
Figura 3.7 - Distribuição acumulada de falhas ou função probabilidade de falha	46
Figura 3.8 - Distribuição de confiabilidade ou função confiabilidade.....	47
Figura 3.9 - Densidade de falhas	48
Figura 3.10 - Taxa de falha.....	49
Figura 3.11 - Gestão estratégica como meio de mudanças	50
Figura 3.12 - Visão estratégica da Manutenção.....	50
Figura 3.13 - Método de controle de Processos (PDCA)	53
Figura 3.14 - Os oito pilares da TPM	55
Figura 3.15 - Diagrama de decisão	60
Figura 4.1 - Subsistemas de um Sistema de manutenção de frotas de mineração	63
Figura 4.2 - Modelo de avaliação dos níveis da manutenção	65
Figura 4.3 - Modelo estrutural.....	65
Figura 4.4 - Funcionamento do Modelo de gestão	66
Figura 4.5 - Interações de fluxos entre Sistemas da organização	69

LISTA DE QUADROS

Quadro 3.1 - Evolução da manutenção	22
Quadro 3.2 - Peso das parcelas componentes do NPR	59
Quadro 4.1 - Sistemas de manutenção de referência	62

LISTA DE TABELAS

Tabela 3.1 - Evolução dos dados de falhas de um equipamento	45
---	----

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

A	<i>Availability</i> (Disponibilidade)
A_a	<i>Availability Achieved</i> (Disponibilidade Alcançada)
A_i	<i>Intrinsic Availability</i> (Disponibilidade Intrínseca)
A_o	<i>Operational Availability</i> (Disponibilidade Operacional)
ABNT	Associação Brasileira de Normas Técnicas
BC	Tarefas baseadas na condição
BT	Tarefas baseadas no tempo
$F(t)$	Distribuição acumulada de falhas em função do tempo
$f(t)$	Função densidade de falhas em função do tempo
FMEA	<i>Failure Mode and Effect Analysis</i> (Análise dos Modos e Efeitos de Falha)
FMECA	<i>Failure Mode and Effect Critically Analysis</i> (Análise dos Modos, Efeitos e Criticidade de Falha)
$h(t); \lambda$	Taxa de falhas em função do tempo
HO	Tempo efetivo disponível para operação
HPO	Tempo disponível planejado para operação
HT	Tempo total disponível no calendário
I	Indisponibilidade
Mct	Tempo médio em manutenção corretiva
MDT	<i>Mean downtime</i> (Tempo médio em manutenção)
Mpt	Tempo médio em manutenção preventiva
MTBF	Mean Time Between Failures (Tempo médio entre falhas)
MTBM	<i>Mean Time Between Maintenance</i> (Tempo médio entre manutenções)
MTBM _c	<i>Mean Time Between Corrective Maintenance</i> (Tempo médio entre manutenções corretivas)
MTBM _p	<i>Mean Time Between Preventive Maintenance</i> (Tempo médio entre manutenções preventivas)

MTBM _{sr}	<i>Mean Time Between Maintenance Requested by Operator</i> (Tempo médio entre manutenções solicitadas por operadores)
MTBR	<i>Mean Time Between Replacement</i> (Tempo médio entre reposição)
MTTR	<i>Mean Time To Repair</i> (Tempo médio para reparo)
NBR	Norma Brasileira
NPR	Número de Prioridade de Risco
PDCA	<i>Plan, Do, Check, Action</i> (Planejar, Executar, Verificar, Atuar)
PP	Paradas planejadas
PPCM	Programação Planejamento e Controle da Manutenção
R	<i>Reliability</i> (Confiabilidade)
R(t)	Distribuição acumulada de confiabilidade em função do tempo
RCM	<i>Reliability Centered Maintenance</i> (Manutenção Centrada na Confiabilidade)
SSMA	Segurança Saúde e Meio Ambiente
TDF	Testes de detecção de falhas ocultas
TMA	Tempo médio para abastecer
TME	Tempo médio em estacionamento
TMLL	Tempo médio para limpar e lavar
TPM	<i>Total Productive Maintenance</i> (Manutenção Produtiva Total)
TQM	<i>Total Quality Management</i> (Gestão pela Qualidade Total)

1. INTRODUÇÃO

1.1 CONSIDERAÇÕES INICIAIS

Em um cenário globalizado onde a vantagem competitiva está cada vez mais atrelada à capacidade de mudança organizacional, é de suma importância que uma Organização produtora, seja de bens ou serviços, concentre esforços para gerenciar seus recursos: insumos, capital, mão de obra, ativos fixos etc., além dos fluxos de informações entre os diversos Sistemas que compõem a Organização. Logo, os diversos Sistemas ou departamentos da organização passam a somar esforços em definir suas: Políticas, Diretrizes, Funções estratégicas, assim como um Modelo de gestão para alcançarem suas metas, obtendo assim vantagem competitiva, e por fim, manter a Organização no mercado.

Desta forma, surgem nos Sistemas de manutenção das empresas¹ novas práticas de manutenção, que são resultados dos avanços tecnológicos (equipamentos e informática) e teóricos (manutenção, gestão de processos, probabilidade e estatística), aos quais, possibilitam desenvolver uma manutenção mais proativa, com maior informação e controle sobre os resultados.

A gestão de manutenção de frotas é necessária sempre que um processo utiliza em sua cadeia produtiva equipamentos móveis. Caso a empresa produza bens, a manutenção pode estar atrelada ao processo de extração de matérias primas e/ou movimentação de insumos, seja no processo produtivo ou produtos acabados para estoques. Já nos casos onde o empresa produz serviços, como exemplo: serviços de logística, transportes urbanos, transportes intra/interestadual etc. a Manutenção objetiva garantir disponibilidade do equipamento móvel para que o serviço seja efetuado.

Assim, a depender do tipo de produto (bens ou serviços), possíveis falhas podem significar maiores ou menores danos ao processo produtivo e/ou ao nome da empresa. Desta forma, cabe ao gestor determinar equipamentos com níveis específicos de confiabilidade, definir suas políticas, planos, prazos e ferramentas de manutenção, investimentos necessários

¹ O processo de mudanças e superação iniciou-se na manutenção industrial, motivado pela necessidade de elevar disponibilidade e confiabilidade dos equipamentos em decorrência do aumento na variedade e níveis de automação dos mesmos (KARDEK; NASCIF, 2009). Assim, os conceitos desenvolvidos pelo setor industrial foram incorporados e adaptados à realidade das demais áreas de manutenção (Frotas, Energia, Aviação etc.) visando elevar os indicadores de gestão e qualidade e consequentemente alcançar um posicionamento mais competitivo no mercado.

no Sistema de Manutenção (humano, *hardware* e *software*), todos com o objetivo de melhorar a qualidade da manutenção a um custo ótimo.

Como função estratégica, a Manutenção tem por objetivo efetuar o PPCM – Programação, Planejamento e Controle da Manutenção. Os resultados esperados são maiores índices de disponibilidade e confiabilidade dos equipamentos, o que auxilia o Sistema Produtivo cumprir seu objetivo de entregar seus produtos. Controle dos custos, segurança operacional e ambiental, aumento da qualidade dos produtos e por fim a satisfação do cliente são outros resultados esperados.

Logo, o Sistema de Manutenção é um complexo de estruturas que visa integrar suas ações objetivando reparar, manter e disponibilizar equipamentos para o Sistema Produtivo, essas estruturas são das mais diversas ordens: Humana, Física, Logística, Lógica e os próprios Equipamentos produtivos. Para frotas mineradoras, existe a necessidade de adicionar uma sexta estrutura ao Sistema de manutenção, que é a estrutura de Responsabilidade social, destinada a mitigar os efeitos das ações dos Sistemas de Manutenção e Produção, assim como fomentar o desenvolvimento social e profissional no entorno das instalações organizacionais.

Outra consequência decorrente destas novas atribuições da Manutenção é a necessidade de elevar a qualidade dos serviços e confiabilidade dos equipamentos. Não cabe mais nos níveis de competitividade atual manter a Manutenção como uma função restauradora das funções do equipamento. Para isso, metodologias de gerenciamento da manutenção, tais como: TPM (*Total Productive Maintenance*) – Manutenção Produtiva Total e RCM (*Reliability Centered Maintenance*) – Manutenção Centrada na Confiabilidade são utilizadas como forma de promover mudanças organizacionais e operacionais, assim como controle e coordenação dos fluxos de informações, objetivando melhorias nestes fluxos e processos do Sistema de Manutenção.

Estabelecer um Modelo de gestão que racionalize a manutenção, apontando resultados auxiliares à tomada de decisão, através de indicadores interligados à disponibilidade, confiabilidade, manutenabilidade, custos de manutenção etc., assim como controlar a qualidade dos serviços realizados por indicadores ligados à SSMA – Segurança Saúde e Meio Ambiente, tem grande importância para o Sistema de Manutenção ser elevado à função estratégica, assim como para o complexo organizacional, pois possibilita produzir com maior produtividade e qualidade, o que refletirá diretamente na satisfação dos clientes e continuidade da empresa no mercado.

1.2 OBJETIVOS

1.2.1 Objetivo geral

O principal objetivo deste trabalho é sugerir um Modelo de gestão baseado nas metodologias de gerenciamento da manutenção (TPM e RCM), que vise auxiliar no fluxo de informações e geração de indicadores de um Sistema de manutenção de frotas em empresas mineradoras.

1.2.2 Objetivos específicos

- Descrever quais estruturas o Sistema de Manutenção deve conter para apoiar o Modelo de gestão, que servirá de suporte ao processo de tomada de decisão;
- Definir quais os principais indicadores de manutenção que podem ser usados nas tomadas de decisão dos gestores da manutenção de frotas de mineração;
- Determinar quais são os desafios e problemas enfrentados pelos Sistemas de manutenção de frotas, assim como apontar formas de minimizá-los.

1.3 JUSTIFICATIVA

Por possuir tamanha importância estratégica devido aos altos níveis competitivos entre as empresas, a manutenção vem ganhando espaço e passando por grandes mudanças nas últimas décadas.

Atualmente, há necessidade da manutenção ser competitiva, pois o cenário produtivo é competitivo. Dessa forma, é preciso haver sintonia entre os processos e Sistemas (Produção, Manutenção, Recursos Humanos, Almoxarifado, Compra etc.), gerando assim, competitividade, o que traz sobrevivência à empresa. Logo, manter o controle e planejar seus processos é de suma importância para manter esta sintonia entre os Sistemas (departamentos) através de fluxos de informações entre os mesmos (KARDEK; NASCIF, 2009).

Para empresas que o Sistema de manutenção não possui informações relacionadas ao processo, seja pela falta de controle dos gestores ou pelas operações ainda estarem no início das atividades, é importante definir quais são as ações que produzem melhorias no processo

de manutenção e gestão. Essas etapas estão relacionadas à criação de um banco de dados dos equipamentos, histórico de intervenções e falhas, controle dos insumos de manutenção, procedimentos e planos de manutenção, estruturação de um sistema informático etc. Todas essas ações focadas em elevar a qualidade do serviço e manter controle sobre os processos do Sistema possibilitando assim a obtenção destes indicadores e troca de informações entre os Sistemas.

O Modelo de gestão entra neste cenário como um integrador de fluxos oriundos dos mais diversos Sistemas da organização, além de possibilitar o acompanhamento dos resultados através de indicadores. Para a Manutenção os indicadores estão atrelados ao desempenho da Manutenção como função estratégica, seja no processo de auxiliar o Sistema produtivo em atingir suas metas; ou no processo de tomada de decisão relacionada às políticas e diretrizes da manutenção, controle de custos, processos de contratações, políticas de compra e renovação de frotas etc.

2. METODOLOGIA

Segundo Fonseca (2002, *apud* GERHARDT; SILVEIRA, 2009, p. 12), *methodos* significa organização, e *logos*, estudo sistemático, pesquisa e investigação. Assim, etimologicamente, metodologia significa o estudo dos caminhos, dos instrumentos utilizados, para fazer uma pesquisa científica.

O conhecimento científico é desenvolvido segundo a compreensão de dois fatores: o objetivo específico de investigação e o método (GERHARDT; SILVEIRA, 2009, p. 22). Segundo Lima (2013, p. 20):

“A escolha da metodologia em um projeto de pesquisa ou qualquer outro trabalho dessa natureza é de grande relevância porque é o processo metodológico que orienta os passos da pesquisa. Todo trabalho se inicia com um objetivo principal, seja a partir de uma curiosidade ou tentativa de solucionar algum problema. As etapas da metodologia norteiam a pesquisa a fim de responder a pergunta inicial que deu origem ao trabalho.”

Para Prodanov *et. al.* (2013, p. 43), “A pesquisa científica é a realização de um estudo planejado, sendo o método de abordagem do problema o que caracteriza o aspecto científico da investigação.”. Isso posto, podemos classificar a pesquisa científica segundo os seguintes aspectos: quanto a abordagem, natureza, objetivos e os procedimentos (GERHARDT; SILVEIRA, 2009).

Quanto à abordagem, a pesquisa está classificada em qualitativa, pois o objetivo é desenvolver um modelo de gestão que possa auxiliar na estruturação do departamento de manutenção de frotas e sugerir melhorias no setor, através dos conceitos de boas práticas, aplicação de ferramentas de gestão, elaboração de um Sistema de Manutenção e Modelo de gestão.

Por existir um direcionamento do Modelo de gestão a uma empresa mineradora, não significa que os resultados deste trabalho estão restritos à manutenção de frotas de mineração. Como há muita semelhança entre os mais diversos setores de manutenção de frotas, existe a possibilidade de empregar o uso dos conceitos aqui desenvolvidos em áreas diversas, tais como: empresas de logística, transporte urbano/estaduais, empreiteiras etc., para isso, há sim a necessidade de adaptar alguns conceitos às realidades encontradas em cada área. O que nos leva à natureza da pesquisa ser aplicada, pois será direcionada em gerar conhecimentos práticos à área de manutenção de frotas.

Segundo Gil (2002, p. 41), as pesquisas podem ser classificadas de acordo com os objetivos propostos e/ou com as técnicas e procedimentos utilizados.

Pelos objetivos, as pesquisas são classificadas em: exploratória, descritiva e explicativa. Por já existir conhecimento a respeito do tema abordado e pela utilização de levantamento bibliográfico e análise documental, esta pesquisa pode ser tratada como descritiva, visto que, possui a finalidade de oferecer a contribuição de uma nova visão ao tema abordado.

Quanto aos procedimentos, o método de trabalho baseou-se em pesquisa bibliográfica, pesquisa documental e pesquisa de campo. As pesquisas bibliográficas e documentais se deram através de levantamentos de referenciais teóricos ligados ao tema, tais como: livros, artigos, revistas científicas, dissertações, manuais de equipamentos etc. Já a pesquisa de campo foi desenvolvida no setor de mineração de uma empresa produtora de cimentos, localizada na Paraíba.

O objetivo da pesquisa de campo foi efetuar um levantamento *in loco* das atividades desenvolvidas pelo setor de manutenção de frotas, assim como, as necessidades e dificuldades enfrentadas pelas equipes (procedimentos de manutenção, logística, infraestrutura, comportamental), coletar dados de falhas de equipamentos e estabelecer relações de causas e efeitos, elaborar um levantamento dos sistemas e itens críticos dos equipamentos e relacioná-los às funções requeridas. Logo, este processo serviu justamente para embasar o desenvolvimento do Modelo de gestão e a adição de uma estrutura de Responsabilidade social no Sistema de Manutenção como mitigadora das ações do processo.

3. FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

3.1 CONCEITO DE MANUTENÇÃO

A ABNT – Associação Brasileira de Normas Técnicas, na NBR 5462 (1994, p. 6), define manutenção como: “Combinação de todas as ações técnicas e administrativas, incluindo as de supervisão, destinadas a manter ou recolocar um item em um estado no qual possa desempenhar uma função requerida.”.

Logo, o conceito de manutenção vai além de manter ou restabelecer as condições de um **item**, que segundo a NBR 5462 (1994, p. 1) é definido como qualquer parte, componente, dispositivo, subsistema, unidade funcional, equipamento, ou sistema que possa ser considerado individualmente, incluindo pessoas. O foco atual está em garantir confiabilidade e disponibilidade da função dos equipamentos, objetivando atender com segurança, preservação do meio ambiente e custos adequados um processo produtivo (bens ou serviços) (KARDEK; NASCIF, 2009).

A degradação dos equipamentos pode ocorrer desde uma aparência externa ruim até falha de um elemento mecânico que venha afetar a produtividade requerida. Logo, além de manter a condição física, que refere-se ao que o equipamento é, também cabe à manutenção manter sua capacidade funcional, que está relacionada ao que o equipamento pode e deve fazer. (XENOS, 1998).

Já uma ampliação da capacidade funcional só é conseguida através de melhorias no equipamento, seja pela modernização de componentes ou sistemas, peças mais resistentes ou outras medidas, cuja finalidade seja elevar os padrões de confiabilidade, níveis de qualidade dos produtos, segurança pessoal e ambiental, convergindo para uma redução dos custos, motivados pelo aumento da vida útil do equipamento, redução das ocorrências de falhas, dos tempos de manutenção preventiva, no uso de peças de reposição etc. (XENOS, 1998).

3.1.1 Evolução da Manutenção

Nos primórdios da industrialização e até o período posterior à primeira guerra mundial (1930), a manutenção das instalações era realizada de forma bastante simples. Por vezes, os próprios operadores de produção efetuavam os reparos nos equipamentos, isso porque estes eram pouco mecanizados. Basicamente, neste período, as intervenções eram feitas nos

equipamentos quando estes falhavam (Corretivas não planejadas) (KARDEK; NASCIF, 2009).

Na segunda geração, já iniciou a preocupação de se criar uma equipe específica para efetuar os reparos na planta. Criou-se assim a Equipe de Manutenção, motivada, sobretudo, pela maior mecanização dos equipamentos e pelo aumento nas demandas por produtos no período pós-guerra. Houve necessidade de garantir maior disponibilidade dos equipamentos e qualidade do produto. A manutenção passou a ocorrer de forma sistemática, ou seja, não se esperava o equipamento falhar para executar uma intervenção no mesmo, mas sim, eram realizadas manutenções baseadas no tempo (Preventivas) (KARDEK; NASCIF, 2009).

Seguindo, temos a terceira geração da manutenção. Desta vez a novidade veio atrelada a avanços tecnológicos na área da eletrônica. Passou-se a ter acesso a aparelhos aferidores de grandezas e melhores computadores. Sendo assim, houve a possibilidade de efetuar um mapeamento do desgaste dos itens, com os equipamentos em pleno funcionamento, criando-se um banco de dados dos mesmos. Quando o nível de desgaste apresentado fosse próximo ao tolerado seria dado prosseguimento à manutenção, baseada na condição do equipamento (Preditiva) (KARDEK; NASCIF, 2009).

A quarta geração é decorrência direta da mudança de mentalidade imposta pela geração anterior. Com o aumento na manutenção preditiva e criação de um banco de dados dos equipamentos, observou-se a oportunidade e necessidade de focar no gerenciamento dos ativos fixos. Logo, esta geração foi focada na gestão dos ativos, ou seja, os equipamentos passaram a receber uma maior atenção não somente na qualidade da manutenção, mas também na criação de histórico de vida (falhas, intervenções e melhorias), na criação de procedimentos de manutenção, busca na diminuição das demandas de serviços, garantia de sobressalentes, melhor treinamento da equipe, melhoramento das relações com fornecedores etc. (KARDEK; NASCIF, 2009).

Na quinta geração, conhecida por Engenharia de manutenção, além das ações tomadas anteriormente, houve a adição da preocupação na detecção de defeitos crônicos, buscando assim efetuar modificações no projeto do equipamento. Em suma, a engenharia de manutenção busca solucionar possíveis problemas já na fase de desenvolvimento do projeto, desde o dimensionamento do equipamento e seus elementos até no material que os compõe (KARDEK; NASCIF, 2009). O quadro a seguir resume este processo de evolução:

Quadro 3.1 - Evolução da manutenção

EVOLUÇÃO DA MANUTENÇÃO										
Geração	Primeira Geração		Segunda Geração		Terceira Geração		Quarta Geração		Quinta Geração	
Ano	1940	1950	1960	1970	1980	1990	2000	2005	2010	2015
Aumento das expectativas em relação à manutenção	• Conserto após a falha.		• Disponibilidade crescente; • Maior vida útil do equipamento.		• Maior confiabilidade; • Maior disponibilidade; • Melhor relação custo-benefício; • Preservação do meio ambiente.		• Maior confiabilidade; • Maior disponibilidade; • Preservação do meio ambiente; • Segurança; • Gerenciar ativos; • Influir nos resultados do negócio.		• Gerenciar ativos; • Otimizar os ciclos de vida dos ativos; • Influir nos resultados do negócio.	
Visão quanto à falha do ativo	• Todos os equipamentos se desgastam com a idade e por isso falham.		• Todos os equipamentos se comportam de acordo como a curva da banheira.		• Existencia de seis padrões de falhas. (Ver Capítulo 3)		• Reduzir drasticamente falhas prematuras dos padrões A e F. (Ver Capítulo 3)		• Planejamento do ciclo de vida desde o projeto para reduzir falhas.	
Mudança nas técnicas de manutenção	• Habilidades voltadas para o reparo.		• Planejamento manual da manutenção; • Computadores grandes e lentos; • Manutenção preventiva (por tempo).		• Monitoramento da condição; • Manutenção preditiva; • Análise do risco; • Computadores pequenos e rápidos; • <i>Softwares</i> potentes; • Grupos de trabalhos disciplinares; • Projetos voltados para a confiabilidade.		• Aumento da manutenção preditiva e monitoramento da condição; • Redução nas manutenções preventiva e corretiva não planejadas; • Análise de falhas; • Técnicas de confiabilidade; • Manutenibilidade; • Projetos voltados para a confiabilidade, manutenibilidade e disponibilidade; • Contratação por resultados.		• Aumento da manutenção preditiva e monitoramento da condição <i>on</i> e <i>off-line</i> ; • Participação efetiva no projeto, aquisição, instalação, comissionamento, operação e manutenção dos ativos; • Garantir que os ativos operem dentro de sua máxima eficiência; • Implementar melhorias objetivando redução de falhas; • Excelência em engenharia de manutenção; • Consolidação da contratação por resultados.	

Fonte: Kardek e Nascif, 2012 (Adaptado).

3.2 TIPOS DE MANUTENÇÃO

3.2.1 Manutenção corretiva não planejada (Emergencial)

Segundo Kardek e Nascif (2009, p. 39), “a manutenção emergencial é a correção da falha de maneira aleatória”, ou seja, o equipamento falha de forma inesperada e indesejada. Este é o tipo de manutenção que deve ser evitada, pois interfere diretamente na produtividade da empresa, devido à indisponibilidade do equipamento. Outras desvantagens são as possibilidades de custos mais elevados devido à falha afetar a qualidade dos produtos e os riscos à SSMA (MATOS, 2018).

Convém chamar a atenção para uma diferenciação entre os termos: defeito e falha, apresentados pela ABNT na NBR 5462 (1994, p. 3). Segundo esta norma técnica, defeito é um desvio de uma característica de um item em relação aos seus requisitos, ou seja, quando um item deixa de cumprir em partes sua função, mas não fica totalmente inoperante. Já falha é o término da capacidade de um item desempenhar sua função, ficando, assim, inoperante.

3.2.2 Manutenção corretiva planejada

É o tipo de manutenção onde o equipamento opera até falhar. Esta política de manutenção é adotada quando os custos de prevenção da falha sobrepõem-se aos custos de reparo do item, e não há riscos ambientais ou aos operadores, assim como, os custos de oportunidade devido à indisponibilidade não são elevados (MATOS, 2018).

As principais vantagens deste tipo de manutenção estão no fato da utilização total da vida útil do item e o aumento da disponibilidade devido a prolongarem-se os períodos entre as manutenções. Como desvantagens, temos: pequenos riscos à SSMA, o que pode ser passível de multas e desconforto do pessoal da produção; possível geração de danos maiores em outros itens; necessidade de pessoal disponível para efetuar o restabelecimento operacional do equipamento, do contrário causará indisponibilidade. (MATOS, 2018).

3.2.3 Manutenção baseada no tempo (Preventiva)

Para Kardek e Nascif (2009, p. 42), “Manutenção preventiva é a atuação realizada de forma a reduzir ou evitar a falha ou queda no desempenho, obedecendo a um plano previamente elaborado, baseado em intervalos definidos de tempo.”. Em frotas, as escalas de tempo podem ser definidas em quilometragem, horas de funcionamento ou quantidade de combustível consumido (MATOS, 2018).

De forma contrária às políticas já mencionadas, a preventiva visa a evitar a falha. Sendo assim, como vantagens, temos: aumento da confiabilidade, pois a substituição do item desgastado pode evitar falhas drásticas; e aumento da disponibilidade, caso realizada em momentos de não operação. As desvantagens são: substituição de itens antes do fim de sua vida útil; possível inserção de defeitos devido à montagem ou em peças sobressalentes; e quando realizada com elevada dispersão de vida útil dificulta mapear o melhor momento de troca (MATOS, 2018).

3.2.4 Manutenção baseada na condição (Preditiva)

Matos (2018, p. 47) define a manutenção preditiva como “Tarefa de manutenção executada através de verificações que buscam identificar “sinais” de desgaste ou fim de vida útil do componente.”. Para Xenos (1998, p. 25), “[...] a manutenção preditiva é um dos elementos da manutenção preventiva. [...] a manutenção preditiva é mais uma maneira de inspecionar os equipamentos.”.

Assim, quando se realiza manutenção preditiva em um equipamento, busca-se obter parâmetros de desgastes (análise de vibrações, termografia, condições de espessura por ultrassom, análises de óleo) que informem quanto de vida útil o item possui, e assim planejar o melhor momento de substituição do item desgastado através de uma manutenção preventiva.

Como vantagens, temos: máximo aproveitamento da vida útil; controle da confiabilidade evitando falhas em operação; caso seja realizada em momentos de não operação, eleva a disponibilidade; permite efetuar a inspeção sem necessidade de desmontagem dos itens, evitando assim falhas de montagem. A principal desvantagem se dá por conta dos custos, relacionados aos investimentos em equipamentos e treinamento de pessoal. Outras desvantagens são: em componentes onde há grande

dispersão no parâmetro de vida útil, maior dificuldade em determinar o momento ótimo de troca do item; possibilidade de incorporar defeitos de montagem quando necessária alguma intervenção no equipamento (MATOS, 2018).

3.2.5 Manutenção detectiva

Segundo Kardek e Nascif (2009, p. 47), “Manutenção detectiva é a atuação em sistemas de proteção, comando e controle, buscando detectar falhas ocultas ou não perceptíveis ao pessoal de operação e manutenção.”.

Este tipo de manutenção está relacionada aos sistemas de proteção e detecção de anomalias presentes nos equipamentos. Em frotas, muitos são os sensores que efetuam leituras nos sistemas, por exemplo: sensor de pressão de óleo do motor, sensor de pressão do sistema de ar, sensor de temperatura do motor; e todos estes têm objetivo de informar possíveis falhas ocultas visando manter a integridade do equipamento e a confiabilidade do sistema constante.

Assim, verificar o funcionamento dos sensores, das lâmpadas e alarmes que indicam falhas dos atuadores dos sistemas de proteção é tarefa da manutenção detectiva, que devem ser realizadas por profissionais capacitados da manutenção auxiliados pelos operadores (KARDEK; NASCIF, 2009).

3.2.6 Engenharia de manutenção

A Engenharia de Manutenção pode ser entendida como a busca constante por melhorias. Restaurar equipamentos deixa de ser o foco da manutenção, que passa a buscar entender os motivos das falhas e sanar os defeitos crônicos dos equipamentos, objetivando maior confiabilidade, e por fim, disponibilidade (XENOS, 1998; KARDEK; NASCIF, 2009).

Melhorias em relação à manutenibilidade, elevar segurança, eliminar problemas tecnológicos, gerir os ativos fixos (documentação técnica, planos de manutenção e inspeção, histórico de falhas, materiais sobressalentes), capacitação profissional das equipes e até mesmo sugerir modificações na fase de projeto dos equipamentos, visando

evitar futuros problemas, são atribuições da Engenharia de Manutenção (KARDEK; NASCIF, 2009).

Praticar Engenharia de manutenção é buscar estabelecer o processo de mudança como cultura organizacional da empresa. Segundo Kardek e Nascif (2009, p. 9), “nesta visão atual a Manutenção existe para que não haja manutenção; estamos falando da manutenção corretiva não planejada.”. Ele complementa dizendo que esta nova política enobrece a atividade da manutenção, visto que o pessoal da área cada vez mais precisa estar qualificado e não mais cabem arranjos e improvisos no modo de manter e gerenciar os ativos. Outros aspectos, além da cultura de mudança, são: a necessidade de competência, criatividade, flexibilidade, velocidade e o trabalho em equipe (KARDEK; NASCIF, 2009).

3.3 SISTEMAS DE MANUTENÇÃO

Primeiramente, convém definirmos o que é um sistema. Blanchard e Fabricky (1990 *apud* MATOS, 1999, p. 28) definem sistema como um todo organizado ou complexo, um conjunto de objetos unidos por alguma forma de interação ou interdependência. Um sistema pode ser entendido como uma associação de unidades em funcionamento conjunto, podendo estas unidades serem indivisíveis ou compostas por subsistemas que também estarão inter-relacionados. Sobre o objetivo do funcionamento conjunto, este visa executar alguma tarefa ou alcançar algum objetivo.

Como já mencionado, a função Manutenção tem objetivo de manter ou reparar itens que dão suporte a um processo produtivo, e sendo ela estratégica além de reparar ou manter tem o objetivo de interferir nos resultados do negócio ao agir de forma proativa, executando suas ações no menor tempo, custo e interferência no processo produtivo e retirar o máximo das capacidades funcionais dos equipamentos observando as questões de qualidade e segurança.

Assim, podemos entender por Sistema de manutenção como uma organização de unidades que em conjunto visam manter ou restaurar as funções dos equipamentos, pertencentes ao seu próprio sistema ou outros, como exemplo, o Sistema de produção. Estas unidades constituintes dos Sistemas de manutenção podem ser distribuídas em cinco estruturas: Humana, Física, Lógica, Logística e Equipamentos produtivos

(MATOS, 1999). As características e ações de cada componente, segundo Matos (1999, p. 31-32) são:

- Humana: estrutura relacionada a pessoas, ou seja, a mão de obra. Como as pessoas são as promotoras de transformações, definir parâmetros relacionados à política de contratações conscientes, visando qualificação profissional e nível de escolaridade é importante no tocante a estruturar esse quadro onde as mudanças possam ser desenvolvidas rapidamente. Manter programas de treinamento, nível de satisfação, progressão de carreira e salarial, saúde e segurança são importantes para fortalecer este subsistema;
- Física: são os equipamentos, ferramentas e estrutura predial que possibilitam executar as ações de manutenção de forma mais eficiente e segura. Como exemplo: pontes rolantes, macacos, máquinas de solda, diques e valetas, até mesmo computadores e servidores (*hardwares*).
- Lógica: são os recursos informáticos. Podem ser eletrônicos (*softwares*) ou físicos (documentos) relacionados à formação de banco de dados e históricos dos equipamentos, procedimentos e planos de manutenção, controles de oficina, controles de combustível, registro de decisões, manuais etc.
- Logística: componente de apoio à execução das atividades, tais como almoxarifado (distribuição e guarda de sobressalentes), departamento de compras, recursos humanos, serviços gerais, utilidades (água, energia, gás, ar comprimido), transporte etc.
- Equipamentos produtivos: essa estrutura é composta justamente pelos equipamentos da produção que serão objeto de ações do Sistema de manutenção. Em frotas, podemos ter a presença dos veículos de apoio, tanto à produção como à manutenção, que também serão responsabilidade do Sistema de manutenção.

Estas estruturas componentes do Sistema de manutenção serão selecionadas segundo as necessidades organizacionais. O Modelo de gestão será um promotor de integração entre estas estruturas do Sistema de manutenção, assim como destinará os fluxos de entrada e saída de informações que chegam e vão para outros Sistemas organizacionais.

3.4 INDICADORES DE MANUTENÇÃO

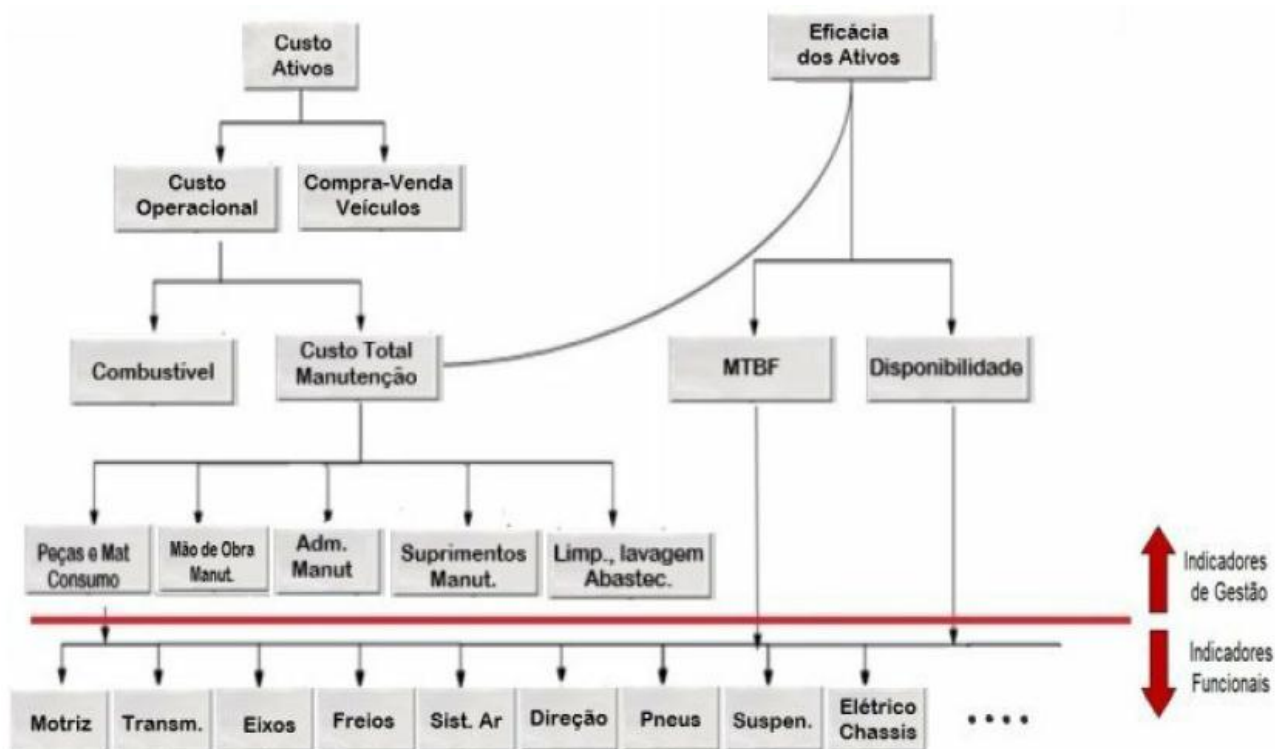
Os Sistemas organizacionais, entre eles o de manutenção, são promovedores de ações que têm por objetivo auxiliar o Sistema produtivo a fornecer bens ou serviços com a maior qualidade, menor custo, observando as questões voltadas a SSMA, visando à permanência no mercado pela satisfação dos consumidores.

Assim, para determinar os níveis de eficiência dos Sistemas são necessários a utilização de indicadores de desempenho, que estão relacionados à eficiência de promover suas ações no contexto organizacional. Estes indicadores quando possuem o objetivo de meta a ser alcançada recebe o nome de *benchmark*.

Matos (2018, p. 107) faz uma distinção entre os indicadores de manutenção em Indicadores de Gestão e Indicadores Funcionais. Os Indicadores de Gestão ligam os resultados da manutenção às diretrizes da organização, ou seja, são indicadores que auxiliam na observação do cumprimento da Manutenção como uma das funções estratégicas da organização. As diretrizes são orientações da alta direção para que a empresa atinja seu objetivo de maior competitividade no mercado, tais como: melhorar a qualidade dos serviços; aumento do lucro operacional; melhorar o clima organizacional; consciência ambiental, diminuição dos tempos de manutenção, diminuição nas frequências de manutenção, diminuição dos custos.

Já os Indicadores Funcionais estão relacionados às causas dos problemas, ou seja, monitoram os resultados dos sistemas (motriz, transmissão, elétrico, pneumático, freio, etc.) existentes nos equipamentos móveis. São os indicadores Funcionais que apoiaram as análises executadas pelos indicadores de Gestão. A Figura 3.1 traz esta relação entre os indicadores de Gestão e os Funcionais.

Figura 3.1 - Relação entre indicadores de Gestão e Funcionais



Fonte: Matos, 2018.

3.4.1 *Benchmark e benchmarking*

Benchmark é definido como uma referência ou nível de desempenho de um sistema, que visa manter a eficiência e qualidade do processo. Já *benchmarking* refere-se ao ato de fazer comparações entre parâmetros de dois ou mais processos. O objetivo de fazer estas comparações está no fato de observar pontos onde o processo é eficiente ou não, e assim controlar as ações sobre o sistema e seus resultados, ou seja, embasar o processo de tomada de decisão (MELGAR, 2008).

Visando estabelecer parâmetros de controle auxiliares à gestão, as empresas líderes de mercado passaram a definir *benchmarks* para os departamentos, funções estratégicas e seus produtos. Assim, surgem os *benchmarks* de desempenho entre empresas, entre processos internos ou externos à empresa, entre produtos, entre funções semelhantes dos departamentos e etc.

Neste cenário, a gerência de frotas passa a definir seus parâmetros, seja pela comparação com empresas líderes de mercado ou pela projeção da própria gerência

sobre qual seria um bom valor de desempenho. Assim, a função Manutenção, em frotas, define os indicadores: Manutenibilidade e seus diversos fatores (manutenção, humanos, logísticos, custos), Disponibilidade e Confiabilidade, necessários à gestão da manutenção que leve a função Manutenção a um patamar de função estratégica.

Importante dizer que, em frotas, duas empresas concorrentes onde seus veículos sejam iguais (marca, modelo, ano de fabricação, tempo de uso) assim como o modelo de gestão, não espera-se, necessariamente, que os indicadores entre as mesmas sejam idênticos, pois outros fatores inerentes à característica operacional podem influenciar na dispersão de dados, tais como: solo, relevo, clima, qualificação dos operadores e mantenedores dos veículos, combustível, qualidade dos lubrificantes etc. (MATOS, 2018).

Assim, ao estimarmos o desempenho de veículos, é preciso considerar que os resultados estarão em função: do projeto do equipamento e suas características de manutenibilidade, do ambiente operacional, da qualidade da operação e da manutenção (planejamento e qualidade do serviço) (MATOS, 2018).

3.4.2 Manutenibilidade

A manutenibilidade ou manutenibilidade é uma característica de projeto dos sistemas relacionada à facilidade, precisão, rapidez e economia das ações de manutenção, ou seja, um conjunto de parâmetros de projetos que proporciona a habilidade de um item ser mantido (BLANCHARD, 1995 *apud* MATOS, 2018).

Segundo a NBR 5462 (1994, p. 3):

“Manutenibilidade é a capacidade de um item ser mantido ou recolocado em condições de executar suas funções requeridas, sob condições especificadas de uso, quando a manutenção é executada sob condições determinadas e mediante procedimentos e meios prescritos.”

Matos (2018, p. 12) compara a manutenibilidade ao “DNA da máquina.”. Uma vez projetado, o equipamento estará dotado ou não de certas características, assim, modificações visando conferir ao equipamento maior desempenho só serão conseguidos com um reprojetado dos sistemas do veículo, e este tipo de atividade envolve maiores

custos e muitas vezes são realizados num ambiente de menor competência técnica, que é a empresa (frotista).

Logo, a excelência em manutenção inicia-se quando há busca pelo bom relacionamento da manutenibilidade para o perfil operacional da empresa, seja no âmbito de operar ou manter o equipamento móvel. Em frotas, é necessário levar em conta qual marca e modelo se adequarão melhor a este perfil, ou seja, que trarão uma melhor eficácia operacional ao relacionar: bom desempenho em consumo de combustível, mas mantendo potência e capacidade; baixos índices de falhas e menores custos ao longo de todo o período de utilização do equipamento. Desta forma caberá à gestão da operação e manutenção tornar esta disponibilidade em bons resultados (MATOS, 2018).

A Manutenibilidade como indicador de manutenção pode ser entendida como a junção de diversos fatores, compreendidos nas seguintes ordens: manutenção, humanos e logísticos. Estes fatores expressam os tempos e frequências de manutenção, os recursos necessários e de suporte às intervenções, os custos de manutenção etc.

3.4.2.1 Fatores de manutenção

Os fatores de manutenção relacionam-se aos tempos de manutenção, frequências de intervenções e aos custos decorrentes das atividades de manutenção.

Assim, quanto aos tempos de manutenção, temos a seguinte classificação, segundo Matos (2018):

- Mct: é tempo médio em manutenção corretiva. Pode ser calculado somando todas as tarefas corretivas ou por classe de tarefas (mecânica, elétrica, pneumática), por função (sistema de freio, transmissão, hidráulico) ou tempo padrão por tarefa (substituição de correia, substituição de vedação de cilindros pneumáticos);
- Mpt: é o tempo médio em manutenção preventiva. Da mesma forma que o Mct, também pode ser calculado somando todas as tarefas preventivas ou por classe de tarefas, por função ou tempo padrão por tarefa.
- MDT: é o tempo médio em manutenção (corretiva e preventiva) também chamado de *mean downtime*. Este tempo considera todo o tempo necessário para

executar a manutenção incluindo atrasos no próprio processo de manutenção e suporte logístico.

Por vezes os tempos de manutenção podem ser afetados por atrasos administrativos, logísticos ou operacionais. Estes atrasos podem ser decorrentes de erros humanos na execução das atividades de manutenção; demora administrativa da diretoria em aprovar solicitações de compras ou departamento de compras efetuando maus processos internos, o que causa falta de sobressalentes, e má gerência e planejamento das atividades de manutenção etc. (MATOS, 2018).

Com relação à frequência de manutenção chamaremos atenção para:

- MTBM – *Mean Time Between Maintenance* (Tempo médio entre manutenções) é uma das principais frequências de manutenção, pois depende da confiabilidade do item ao longo do seu ciclo de vida.
- MTBR – *Mean Time Between Replacement* (Tempo médio entre reposição) refere-se ao tempo que determinado item pode atingir, ou seja, é utilizado como parâmetro na determinação dos planos de inspeções e substituições preventivas.

Com relação ao tempo médio entre manutenções (MTBM), podemos tratá-lo separadamente pela perspectiva de manutenções preventivas ($MTBM_p$) e corretivas ($MTBM_c$) ou MTBF – *Mean Time Between Failures* (Tempo médio entre falhas). O $MTBM_c$ ou MTBF tem estreita relação com a taxa de falha (λ), já o $MTBM_p$ depende das características do ciclo de vida dos itens e o plano de manutenção aos quais esses estão expostos.

Em frotas é comum a utilização de uma terceira frequência, o $MTBM_{sr}$, que define o tempo médio entre solicitações de reparo por operadores. Este indicador não é uma frequência de falha propriamente dita, pois está relacionado a algum desvio de desempenho do equipamento que não configure falha, mas sim defeito, ou seja, uma queda no desempenho onde o equipamento não sai de operação imediatamente após seu aparecimento. Este indicador está relacionado primeiramente ao nível de comprometimento do operador e seu grau de conhecimento do equipamento, pois depende da sensibilidade do mesmo em identificar o aparecimento do defeito. Outros

fatores relacionado ao $MTBM_{sr}$ são: característica do projeto do equipamento móvel, condições operacionais impostas, idade do equipamento etc. (MATOS, 2018).

A importância do $MTBM_{sr}$ está no fato de controlar as intervenções nos equipamentos antes destes apresentarem falha, ou seja, um baixo $MTBM_{sr}$ significa que os reparos estão sendo executados sem postergações e não há acúmulo de serviços, o que mantém a confiabilidade do equipamento. Outro importante resultado está na possibilidade de dimensionar as equipes que atuarão nesses serviços (reparo de defeitos) através de um indicador para dar suporte ao processo decisório.

Assim, o MTBM global é dado por:

$$MTBM = \frac{1}{\frac{1}{MTBM_c} + \frac{1}{MTBM_{sr}} + \frac{1}{MTBM_p}} \quad (3.1)$$

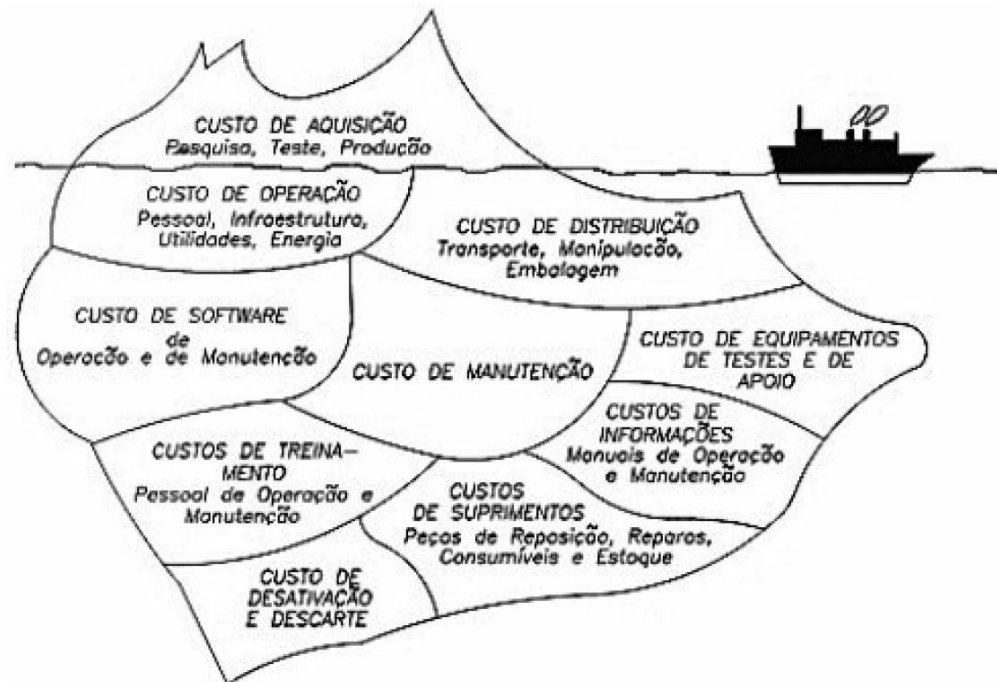
Atualmente, a principal dificuldade em trabalhar com estes indicadores mora na falta de controle das empresas em coletar os tempos de reparo. Superar este “descontrole” se faz importante, pois a evolução do tempo médio entre manutenções (MTBM) ao longo do ciclo de vida proporciona uma base de dados para o dimensionamento de frota reserva e equipes de manutenção (MATOS, 2018).

Por fim, temos os custos de manutenção como um dos fatores da manutenibilidade. A importância deste tema inicia-se desde o processo de aquisição do equipamento, pois o desempenho do veículo, como já vimos, será delimitado pelo projeto do mesmo. Assim, é necessário adequar o projeto às características operacionais, pois será a partir desta junção que o custo, além de fatores como disponibilidade e confiabilidade, serão determinados.

Relacionam-se aos custos de manutenção os gastos como sobressalentes e insumos (óleos e graxas, água, energia), treinamento do pessoal da manutenção e salários, aquisição de ferramentas e equipamentos, investimentos em *software* de manutenção etc. Muitas vezes, economias nessas necessidades podem significar custos elevados, seja por afetar a produção devido a equipamentos com disponibilidade e confiabilidade ineficientes, por inserir nos produtos defeitos e, em casos extremos, danos ambientais ou à segurança dos colaboradores (CAMPOS; BELHOT). A Figura

3.2 demonstra como os custos podem surgir dos mais diversos modos, desde a aquisição do equipamento até o fim de seu ciclo de vida:

Figura 3.2 - Efeito iceberg



Fonte: Blanchard, 1995 *apud* MATOS, 2018.

3.4.2.2 Fatores Humanos

Os fatores humanos interferem na manutenibilidade dos mais diversos modos. Os esforços humanos em operar e manter os equipamentos estão relacionados a diversos fatores, os quais Matos (2018, p. 41) cita:

- Fatores antropométricos – dimensões e características do corpo humano, tais como força;
- Fatores sensoriais – Capacidade de percepção dos sentidos humanos;
- Fatores fisiológicos – Impacto do estresse do ambiente, como temperatura, vibração e ruídos;
- Fatores psicológicos – Características relacionadas à mente humana, capacidade de aprendizado, nível de satisfação e comprometimento.

Deste modo, erros humanos, sejam operacionais ou da manutenção, podem ser inseridos nos equipamentos, afetando o nível de confiabilidade e disponibilidade do

mesmo. Assim, é importante o projeto do veículo ser dotado de mecanismos de proteção que evitem estas ocorrências.

Atualmente, as empresas fabricantes de máquinas pesadas investem em equipamentos com cabines de operação dotadas de isolamento sonoro e condicionamento de ar. Este investimento visa mitigar os fatores fisiológicos para o pessoal da operação. Nos fatores sensoriais, por exemplo, pode-se dotar os equipamentos com sensores de desgaste de lonas de freio, que indicam tanto ao operador como o mantenedor o momento da troca do item, tornando a opção pela troca não mais subjetiva segundo a percepção humana.

3.4.2.3 Fatores logísticos

Os elementos de suporte logísticos são recursos auxiliares à manutenção que possibilitam o reparo do item, mas que não estão diretamente ligados à ação de manter. Matos (2018, p. 42) cita como elementos dos fatores logísticos:

- Suprimento (sobressalentes e insumos);
- Equipamentos de suporte (compressor de ar, macaco e girafa etc.) e de teste (analisador de vibrações, ultrassom, teste de baterias etc.);
- Infraestrutura (estrutura da oficina, dique de lavagem, laboratórios);
- Recursos de comunicação;
- Demanda de pessoal;
- Transporte e Manuseio (ponte rolante, empilhadeiras etc.);
- Documentação (manuais do veículo, planos de manutenção, históricos, etc.);
- *Software* e outros recursos computacionais.

Por vezes, alguns destes recursos (computadores, *software*, infraestrutura de oficina, equipamentos) podem ser encarados como aquisições desnecessárias, mas para alcançar a excelência em manutenção ao nível de classe mundial, são necessários estes investimentos. Caso contrário, por mais que exista uma cultura de boas práticas, sem esse suporte não haverá desenvolvimento, e os frutos esperados não serão obtidos, o que gerará nos departamentos e equipes frustração e baixa no moral (CAMPOS; BELHOT).

3.4.3 Disponibilidade

É uma das principais medidas de desempenho de um item, pois refere-se à capacidade deste estar em condições de executar certa função quando solicitado. A ABNT na NBR 5462 (1994, p. 3) define disponibilidade da seguinte forma:

“Capacidade de um item estar em condições de executar uma certa função em um dado instante ou durante um intervalo de tempo determinado, levando em conta os aspectos combinados de sua confiabilidade, manutenibilidade e suporte de manutenção, supondo que os recursos externos requeridos estejam assegurados.”

Devemos entender por suporte de manutenção os fatores logísticos apresentados na subseção 3.3.2.3.

Representada por “A” de *availability* (disponibilidade), é modelada como uma razão entre o tempo que o equipamento ficou disponível para operar pelo tempo total no calendário de operação, como mostra a equação a seguir:

$$A = \frac{MTBM}{MTBM + MDT} \quad (3.2)$$

Ou

$$A = 1 - I \quad (3.3)$$

onde I é tempo de indisponibilidade, que será tratado mais a frente.

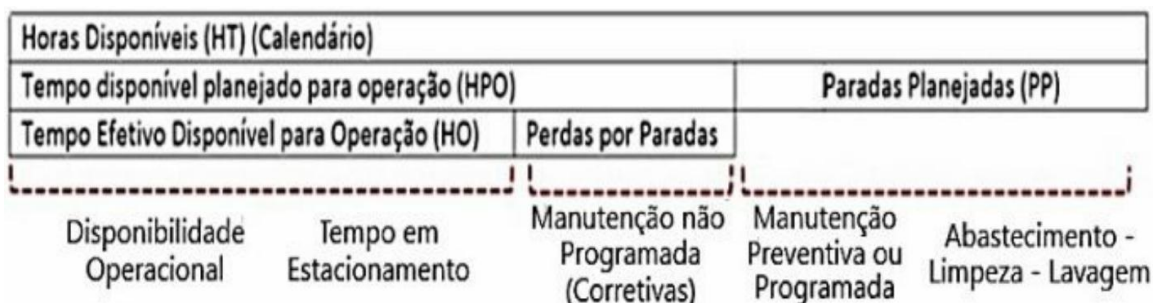
A relação de tempos de um equipamento móvel é diferente dos tempos observados para equipamentos industriais. Assim, a abordagem dos tempos a fim de calcularmos as disponibilidades (Inerentes, Operacionais e Alcançada) será feita de forma não convencional as encontradas em escritos de manutenção industrial devido nosso foco ser na manutenção de frotas de mineração.

3.4.3.1 Disponibilidade Intrínseca

Para ter um melhor entendimento sobre estes tempos, que compõem a disponibilidade de um equipamento móvel, faremos uso das Figura 3.3 e Figura 3.4

citadas por Pinto e Nascif (2003 *apud* MATOS, 2018), onde HT – Tempo total disponível no calendário, HPO – Tempo disponível planejado para operação; HO – Tempo efetivo disponível para operação e PP – Paradas planejadas.

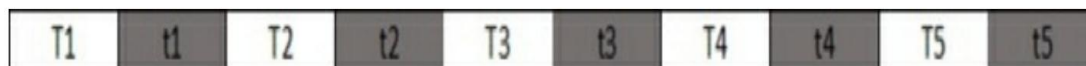
Figura 3.3 - Relação de tempos de um equipamento



Fonte: Pinto e Nascif, 2003 *apud* MATOS, 2018.

Como visto na figura acima, o tempo de abastecimento e limpeza do veículo deve ser contabilizado como parada programada. Fazendo inicialmente uma suposição de que um veículo não possua o tempo para paradas programadas (PP), o tempo disponível planejado para operação (HPO) será o somatório do tempo efetivo disponível para operação (HO) e as paradas não planejadas. Na figura a seguir, temos tempo efetivo disponível para operação (HO) como (T_n) e paradas não planejadas como (t_n):

Figura 3.4 - Alternância de estado operacional de um veículo



Fonte: Pinto e Nascif, 2003 *apud* MATOS, 2018.

Dessa forma, no tempo disponível planejado para operar, teremos tempos efetivos de operação, que equivalem ao MTBF, tempo médio entre falha; ou seja, o veículo está disponível para operar sempre que não estiver em falha. Assim:

$$MTBF = \frac{(T_1 + T_2 + T_3 + T_4 + T_5 + \dots + T_n)}{n} \quad (3.4)$$

Onde os tempos “T”, em frotas, podem ser medidos em horas, quilômetros ou consumo de combustível. A adoção da medida de tempo será decorrência do uso do equipamento. Para equipamentos dotados de horímetro, sendo móveis ou estáticos, aconselha-se a adoção em horas. Em equipamentos móveis sem presença do horímetro é aconselhável o controle por quilômetros e para equipamentos estáticos, consumo de combustível. Outra observação para frotas, que pode ser vista na Figura 3.3, é que o

tempo efetivo disponível para operação (HO) é composto por tempo médio de disponibilidade operacional ou tempo médio entre falhas (MTBF) e o tempo médio em estacionamento (TME), assim:

$$HO = (MTBF + TME) \quad (3.5)$$

Já o tempo médio de indisponibilidade, ou seja, o tempo que o veículo não está disponível para operar, ainda considerando que não foi disponibilizado tempo para parada programada no calendário, é composto por três momentos:

- Tempo médio para abastecer (TMA);
- Tempo médio para limpar e lavar (TMLL);
- Tempo médio para reparos (MTTR – *Mean Time To Repair*).

Se considerarmos além da indisponibilidade de tempo de parada programada, que os processos de manutenção e de suporte logístico (pessoal, ajustes de ferramentas, equipamentos e infraestrutura, materiais sobressalentes etc.) estão sob condições ideais, ou seja, não ocorrem atrasos nesses processos, o tempo médio para reparos (MTTR) será o mesmo tempo que o Mct, que é o tempo médio em manutenção corretiva (MATOS, 2018).

Desta forma, e observando a Figura 3.3, podemos concluir que o tempo total disponível no calendário (HT) de um veículo será o tempo médio entre falhas (MTBF) ou tempo de operação, mais o tempo de estacionamento e os de indisponibilidade (corretivas, abastecimento e lavagem), assim:

$$HT = MTBF + TME + Mct + TMA + TMLL \quad (3.6)$$

Logo, a disponibilidade num período de tempo é calculada pela razão entre as equações 3.5 e 3.6, da seguinte forma:

$$A_i = \frac{HO}{HT} \quad \therefore \quad A_i = \frac{MTBF + TME}{MTBF + TME + Mct + TMA + TMLL} \quad (3.7)$$

onde A_i é chamada de Disponibilidade intrínseca ou inerente.

Esta disponibilidade reflete a máxima capacidade de um equipamento, desconsiderando a necessidade de intervenções preventivas e atrasos nos processos de

manutenção e suporte logístico. Matos (2018, p. 20, grifo do autor) diz: “Tal disponibilidade representa o potencial do planejamento da manutenção da frota [...]”. Assim, a importância deste indicador está na possibilidade de efetuar análises sobre as consequências das falhas em operação (MTBF) e o quanto da disponibilidade do equipamento operar é suprimida em decorrência do plano de manutenção, logo é um indicador usado para efetuar ajustes nos planos de manutenção visando à eficiência e eficácia do mesmo.

3.4.3.2 Disponibilidade Alcançada

Como na prática os veículos necessitam de manutenções preventivas (Mpt), é necessário considerá-las. A melhor forma de realizá-las seria durante o tempo que o veículo está no estacionamento (TME), mantendo o tempo de disponibilidade operacional preservado. Independentemente de onde seja alocado o tempo para a realização das preventivas, seja do tempo de estacionamento ou do tempo de disponibilidade operacional, o tempo disponível para operação (HPO) será diminuído. Nestas condições, Matos (2018, p. 21) determina o tempo total de disponibilidade no calendário (HT) por:

$$HT = (MTBF + TME + Mct + Mpt + TMA + TMLL) \quad (3.8)$$

Assim, temos uma nova disponibilidade dada por:

$$A_a = \frac{(MTBF + TME)}{(MTBF + TME + Mct + Mpt + TMA + TMLL)} \quad (3.9)$$

onde A_a é chamada de disponibilidade alcançada.

Este indicador continua trazendo em sua natureza uma característica ideal para o processo de manutenção e suporte logístico ao não considerar possibilidades de atraso nessas etapas, mas ao considerar o tempo para realização de manutenções corretivas e preventivas engloba tempos importantes no gerenciamento da manutenção de um equipamento móvel.

Como importância quanto indicador, a disponibilidade alcançada é usada como parâmetro de meta a ser alcançada pela manutenção, pois quaisquer defasamentos

negativos estarão necessariamente interligados aos atrasos e deficiências encontradas nas equipes de manutenção, no suporte logístico e seus processos.

3.4.3.3 Disponibilidade Operacional

Na prática, os processos e procedimentos possuem imperfeições e estão sujeitos a atrasos. Assim, além das considerações provenientes das taxas de falhas e dos tempos necessários à execução dos planos de manutenção (corretiva e preventiva) e seus atrasos inerentes, devemos considerar também os atrasos provenientes do suporte logístico envolvido no processo de manutenção. Dessa forma, os tempos médios de manutenção corretiva (Mct) e preventiva (Mpt) serão adicionados aos atrasos no processo de manutenção e logística resultando em um novo tempo médio de manutenção (MDT). Logo, temos um tempo total disponível no calendário (HT) da seguinte forma:

$$HT = MTBF + TME + MDT + TMA + TMLL \quad (3.10)$$

Assim, como resultado da modificação no tempo total disponível no calendário (HT), surge uma nova disponibilidade que considera o processo de manutenção passível de atrasos, erros, deficiências e dificuldades, que é um indicador real do processo, chamado disponibilidade operacional (MATOS, 2018, p. 22). É justamente esse indicador que deve ser monitorado e ajustado (diminuição dos atrasos) a fim de cada vez mais aproximar-se da disponibilidade alcançada, garantindo assim que o processo seja eficiente. Temos a disponibilidade operacional como:

$$A_o = \frac{MTBF + TME}{MTBF + TME + MDT + TMA + TMLL} \quad (3.11)$$

A disponibilidade operacional também pode ser determinada pela Equação 3.12. Para isso, é necessário calcular a indisponibilidade (I) do item. Caso os tempos de manutenção já abordados estejam determinado, a indisponibilidade será determinada da seguinte forma:

$$I = \frac{MDT + TMA + TMLL}{MTBF + TME + MDT + TMA + TMLL} \quad (3.12)$$

A indisponibilidade reflete o percentual de tempo que o veículo fica indisponível em decorrência das tarefas de manutenção, lavagem, abastecimento, entre outras necessidades e até mesmo atrasos no suporte logístico.

Matos (2018, p. 26) discorre sobre formas alternativas de determinar o indicador de indisponibilidade, e consequentemente a disponibilidade operacional, utilizando-se para isso razões entre o total de requisições da função não concretizados pelo total de requisições. Vejamos os exemplos para cada atividade que faz uso de frotas:

- Transporte de passageiros: número de viagens perdidas por manutenção sobre o total efetivamente demandado pela operação;
- Transporte de carga: número de fretes realocados sobre o total efetivamente demandado;
- Transporte de matéria prima (Mineração): Número de horas indisponíveis sobre o número total de horas de calendário (usando-se o horímetro do equipamento); ou toneladas de matéria-prima “não carregadas” sobre a meta de toneladas necessárias.

A importância de entender este tratamento para encontrar a disponibilidade operacional está na situação de não existir dados suficientes dos tempos relacionados ao equipamento, seja por uma falta de controle no levantamento por parte do PPCM, ou por conta das atividades estarem no início, sem a possibilidade ainda de formação de histórico. Matos (2018, p. 26) chama a atenção quanto ao uso de diferentes métodos para determinação destes indicadores devido à dificuldade de gerar dados padronizados que possibilitem executar *benchmarking* entre as empresas.

3.4.4 Confiabilidade

Confiabilidade é considerada a **probabilidade de um item desempenhar** uma função requerida sob condições definidas de uso durante um intervalo de tempo estabelecido e certo nível do ciclo de vida (KARDEK; NASCIF, 2009; ABNT NBR 5462/1994, grifo meu). Enquanto, a disponibilidade aborda a **capacidade** de um item desempenhar a função.

Logo, a Confiabilidade é função do tempo de uso, denotaremos por $R(t)$. Podemos dizer que quanto maior o uso contínuo e quanto mais próximo do fim de vida maior será a probabilidade do equipamento falhar, diminuindo assim sua confiabilidade (MATOS, 2018).

Muitas são as distribuições de probabilidade que modelam a confiabilidade em função do tempo, entre elas podemos citar a distribuição Exponencial e a de Weibull. Essas distribuições são modeladas segundo as características da taxa de falhas. Não será o foco deste trabalho abordar esta análise matemático-estatística, pois o objetivo aqui é demonstrar os conceitos dos indicadores de desempenho e uma forma de aplicação simples, mas que surte em bons resultados no processo de gerenciar um Sistema de manutenção de frotas.

3.4.4.1 Taxa de falha

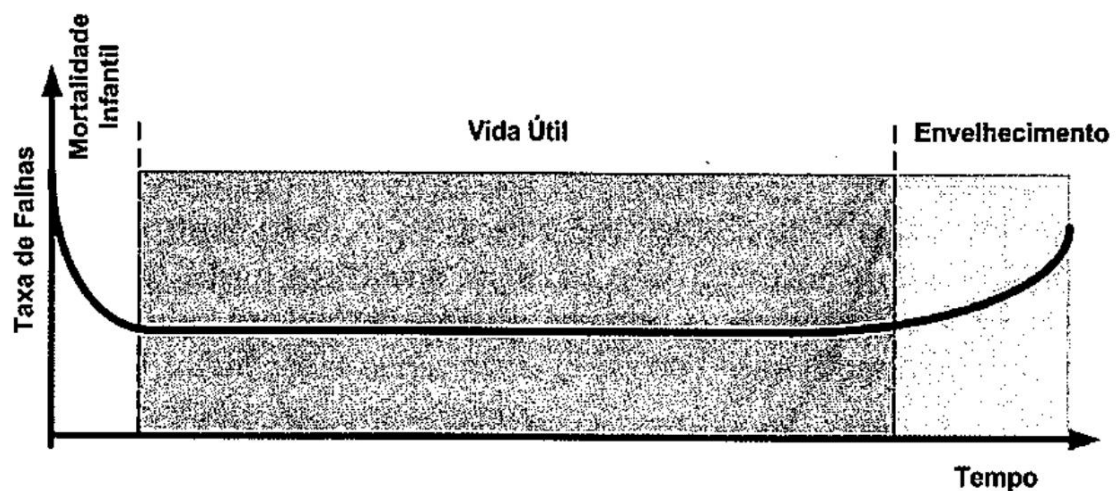
Como já dito anteriormente na subseção 3.3.2.1, a taxa de falha tem uma estreita relação com o tempo médio entre falha (MTBF). A taxa de falha pode ser compreendida como a razão entre o número total de falhas em um tempo total de funcionamento do equipamento. Mas se tomarmos uma única falha para o tempo médio (MTBF) encontraremos:

$$\lambda = \frac{1}{MTBF} \quad (3.13)$$

Onde λ representa a taxa de falha, que em algumas literaturas é denotada por $h(t)$.

Entender o conceito de taxa de falha é tão importante como aplicá-lo de forma prática. Comumente, utiliza-se a taxa de falha, $h(t)$ ou λ , em função do tempo (t), formando uma curva característica da vida do equipamento, chamada de “curva da banheira” quando possui este perfil côncavo, que relaciona a probabilidade do item falhar em função do tempo de uso do mesmo, como podemos ver na Figura 3.5:

Figura 3.5 - Modelos de falha combinados “Curva da banheira”



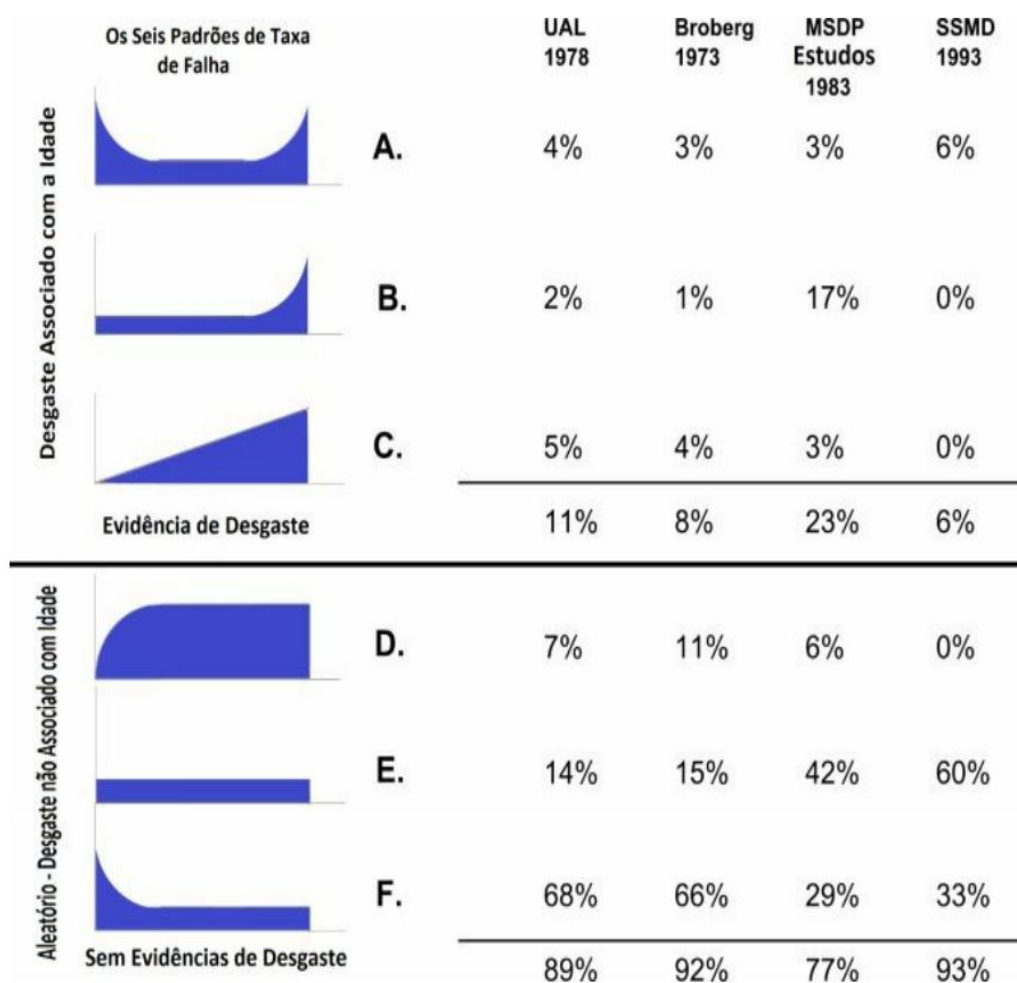
Fonte: Kardek e Nascif, 2009.

Os três setores identificados na figura são:

- **Mortalidade infantil:** falhas que ocorrem de forma prematura, relacionadas a erros de fabricação ou montagem. Como vemos na figura, nesta fase há uma queda na taxa de falha em função do tempo de operação do item;
- **Vida útil confiável:** fase onde a taxa de falha não varia em função do tempo de uso;
- **Envelhecimento:** fase na qual há um aumento na taxa de falha com o passar do tempo, isto está relacionado ao fim de vida útil do item.

Os estudos desenvolvidos com o objetivo de relacionar a taxa de falha com o tempo de uso concluíram que existem seis tipos principais de modelos de falhas. Dentre estes levantamentos está o compilado em *Reliability-Centered Maintenance (RCM) Handbook* da Marinha dos Estados Unidos - USA NAVY (2007 *apud* MATOS, 2018, p. 62), que traz os resultados de quatro estudos. Na Figura 3.6, temos: UAL, relatório divulgado pela United Airlines; Broberg, relatório sobre uma base de dados de aeronaves; MSDP, referente aos dados de componentes de navio da Marinha Americana e; SSMD, referente aos componentes eletrônicos também da Marinha Americana.

Figura 3.6 - Os seis perfis de modelos de falhas



Fonte: Matos, 2018 (Adaptado USA NAVY, 2007).

A primeira análise que podemos fazer sobre a figura está no fato de que os perfis (modelos) A, B e C, que têm os desgastes dos itens bastante relacionados com o tempo, representam uma média de 12% dos componentes. Já para os perfis D, E e F, temos uma baixa relação da taxa de falha em relação ao tempo de uso, com uma média de 88%. Neste fato mora a questão de que nem sempre a Manutenção Preventiva é indicada para gerir com eficiência e economia a manutenção, seja em frotas ou outras áreas, pois em média somente 1 em cada 8 itens falharam em função do tempo.

Assim, buscar entender o conceito da taxa de falha e formar históricos objetivando criar os perfis para os itens críticos é valioso, pois será um excelente auxílio para o gestor de frotas, seja na determinação das políticas de manutenção ou nas correções necessárias a estas políticas (MATOS, 2018).

Outro fator a ser questionado é: o que determina se um item será ou não afetado pelo tempo de uso? Certamente entre os fatores que determinarão esta condição estão: as características da operação do equipamento; os fatores do meio em que ele se encontra; em equipamentos móveis, até mesmo as características do solo e relevo são determinantes para impor uma condição ao equipamento. Matos (2018, p. 63), diz que fatores como: fadiga, corrosão e oxidação são os modos predominantes de falhas para os perfis A, B e C. Já para os perfis D, E e F, temos uma ocorrência maior em componentes eletrônicos e de sistemas hidráulicos.

3.4.4.2 Densidade de falhas e densidade acumulada de falhas

Primeiramente, faremos uso de uma situação apresentada por Matos (2018, p. 29), que demonstra como, através da coleta de dados de falha, é possível evoluir e determinar de forma simples alguns indicadores de manutenção. A Tabela 3.1 demonstra a evolução das falhas dos itens de um equipamento:

Tabela 3.1 - Evolução dos dados de falhas de um equipamento

Tempo	Numero de Falhas	Falhas Acumuladas	Dist. Acumulada de Falhas	Número de Sobreviventes	Função Confiabilidade	Função Densidade de Falhas	Taxa de Falha Condicional
(x10 ³ km)	n_f	(N_f)	$F(t)$	N_s	$R(t)$	$f(t)$	$h(t)$
0	0	0	0	100	1	1,05E-02	1,05E-02
20	21	21	0,21	79	0,79	6,00E-03	7,59E-03
40	12	33	0,33	67	0,67	3,50E-03	5,22E-03
60	7	40	0,4	60	0,6	2,50E-03	4,17E-03
80	5	45	0,45	55	0,55	2,50E-03	4,55E-03
100	5	50	0,5	50	0,5	2,00E-03	4,00E-03
120	4	54	0,54	46	0,46	2,00E-03	4,35E-03
140	4	58	0,58	42	0,42	1,50E-03	3,57E-03
160	3	61	0,61	39	0,39	1,50E-03	3,85E-03
180	3	64	0,64	36	0,36	2,50E-03	6,94E-03
200	5	69	0,69	31	0,31	3,50E-03	1,13E-02
220	7	76	0,76	24	0,24	5,00E-03	2,08E-02
240	10	86	0,86	14	0,14	3,50E-03	2,50E-02
260	7	93	0,93	7	0,07	2,00E-03	2,86E-02
280	4	97	0,97	3	0,03	1,00E-03	3,33E-02
300	2	99	0,99	1	0,01	5,00E-04	5,00E-02
320	1	100	1	0	0		

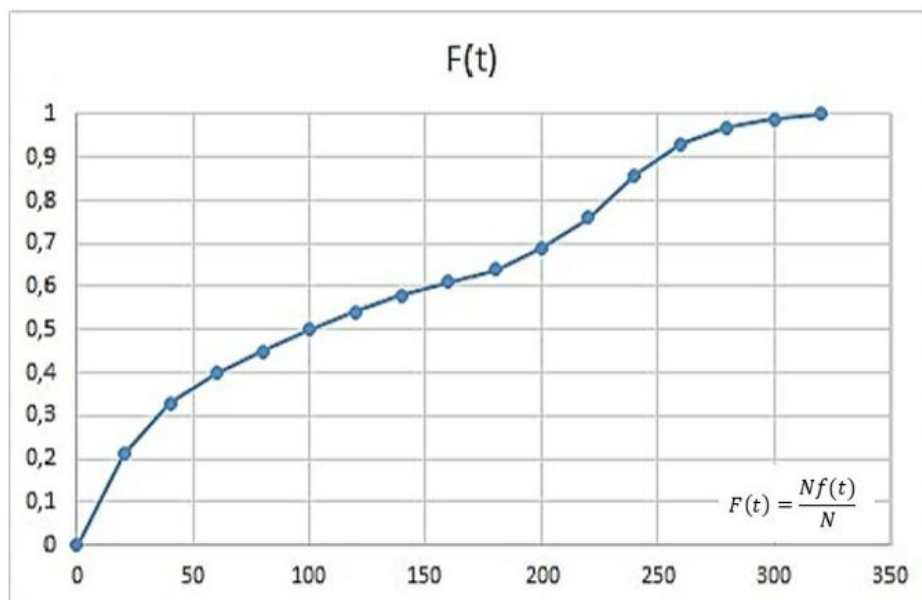
Fonte: Matos, 2018.

Como podemos ver, a 1ª coluna demonstra o tempo de falha, em uma escala de mil quilômetros. Já a 2ª, 3ª e 4ª colunas demonstram o número de falhas para cada intervalo de quilometragem, o valor absoluto das falhas acumuladas e a distribuição

acumulada de falhas, $F(t)$, em termos percentuais, respectivamente. As 5ª e 6ª colunas relacionam o número de itens sobreviventes em termos absolutos e percentuais, através da distribuição acumulada de confiabilidade, $R(t)$, respectivamente. Já a 7ª coluna é dada a função densidade de falhas, $f(t)$, que é probabilidade de um item falhar em um dado tempo posterior, sabendo que no tempo atual está em bom funcionamento. A coluna 8ª traz a informação da taxa de falha, $h(t)$ ou λ , que é a probabilidade do item falhar em um dado instante de tempo.

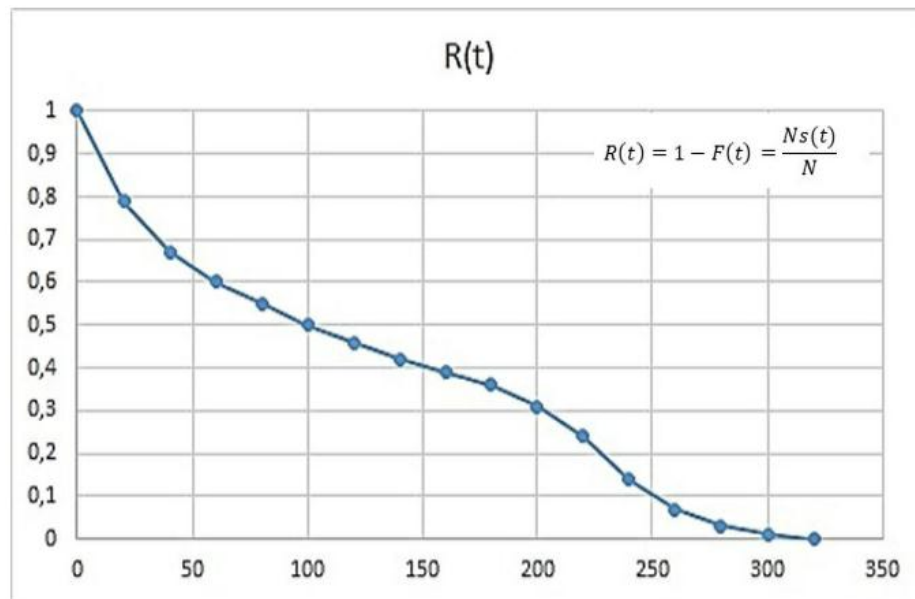
As Figura 3.7 e 3.8 demonstram as curvas de distribuição acumuladas de falha e confiabilidade, respectivamente.

Figura 3.7 - Distribuição acumulada de falhas ou função probabilidade de falha



Fonte: Matos, 2018.

Figura 3.8 - Distribuição de confiabilidade ou função confiabilidade



Fonte: Matos, 2018.

Podemos observar a proporcionalidade entre elas, pois o crescimento de uma se dá de semelhante modo à diminuição da outra, assim podemos relacionar a distribuição acumulada de falha, $F(t)$, à distribuição de confiabilidade, $R(t)$, do seguinte modo:

$$F(t) = 1 - R(t) \quad (3.14)$$

A determinação da densidade de falha, $f(t)$, formalmente é dada como a derivada da função probabilidade de falha, $F(t)$, mas como já dito, nossa abordagem será simplificada com o objetivo de tornar a determinação dos indicadores o mais fácil possível. Logo, transformando a abordagem infinitesimal da derivada em uma razão diferencial entre as probabilidades de falhas e os intervalos de tempo, temos:

$$f(t) = \frac{\Delta F(t)}{\Delta t} \quad (3.15)$$

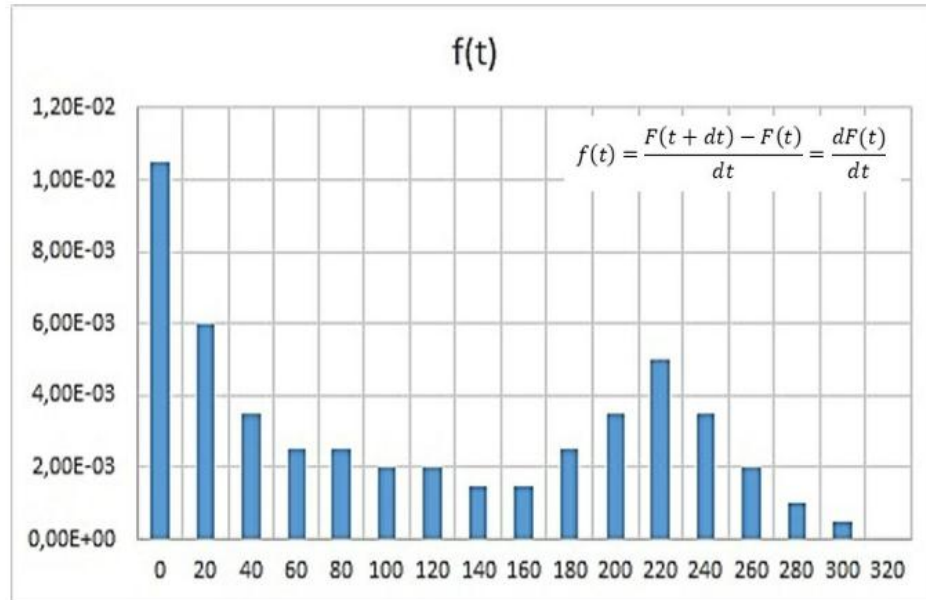
Onde, em frotas, como já dito, a variável tempo (t) pode ser na escala de horas de funcionamento, quilometragem ou consumo de combustível. Assim, para o exemplo sugerido por Matos, tomando como base a Tabela 3.1, temos:

$$f(t_n) = \frac{F_{n+1} - F_n}{t_{n+1} - t_n} \quad (3.16)$$

onde, a variável “n” refere-se aos intervalos de tempo em quilômetros, com “n” variando de 0 a 320.000 km, com implementos de 20.000 km.

A Equação 3.16 nos fornece a probabilidade de um item falhar “atrasada”, mas que em termos práticos nos mostra tendências em relação às falhas dos itens de um equipamento, como podemos ver na Figura 3.9:

Figura 3.9 - Densidade de falhas



Fonte: Matos, 2018.

Por fim, temos outra forma de determinar a taxa de falha, além da já apresentada, pela relação como o tempo médio entre falhas (MTBF). A taxa de falha relaciona-se com a densidade de falha através da equação a seguir:

$$h(t) = \frac{f(t)}{R(t)} \quad (3.17)$$

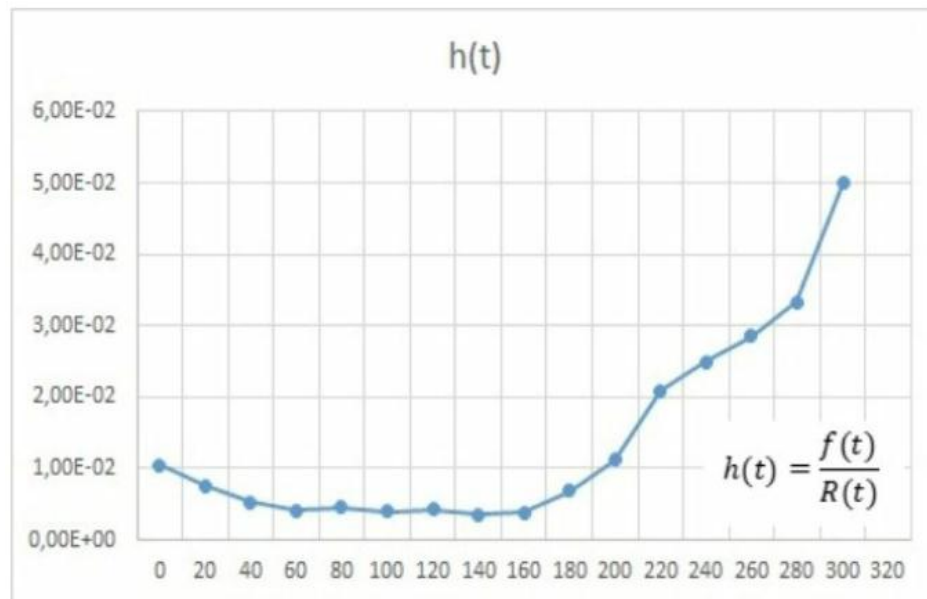
Onde, tomando novamente como base a Tabela 3.1, observamos que é possível determinar a taxa de falha em um intervalo de tempo, através da razão entre a densidade de falha pela função confiabilidade nesse mesmo intervalo.

$$h(t_n) = \frac{f(t_n)}{R(t_n)} \quad (3.18)$$

Uma das formas de determinar a densidade de falha, evitando o “atraso” observado no método da Equação 3.16, é através, primeiramente, da determinação da taxa de falha, $h(t)$, pela razão com o tempo médio entre falhas (MTBF), Equação 3.13, para o intervalo em questão. Após, multiplica-se a taxa de falha pela função confiabilidade obtendo assim a densidade de falha em tempo real. O que é muito

importante no processo de tomadas de decisões e na identificação instantânea da tendência deste parâmetro.

Figura 3.10 - Taxa de falha



Fonte: Matos, 2018.

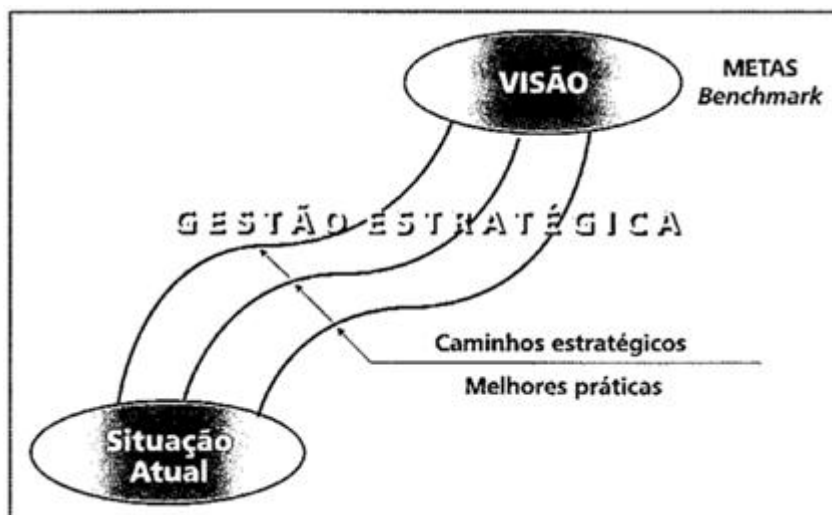
3.5 METODOLOGIAS DE GERENCIAMENTO DA MANUTENÇÃO

3.5.1 Manutenção como função estratégica

Como já falado, em um cenário competitivo as transformações ocorrem em alta velocidade. Assim, integrar as diferentes áreas da empresa, principalmente as diretamente relacionadas ao processo produtivo, facilita a caminhada rumo à excelência empresarial. Pensar e agir estrategicamente, com eficácia em transformar planejamento em ações, garante ao negócio vantagem competitiva e por fim permanência no mercado (KARDEK; NASCIF, 2009).

A Gestão Estratégica pode ser entendida como um conjunto de ações que objetivam transformar a realidade de uma organização, levando em conta seu panorama atual e definindo uma visão de futuro para o mesmo, como mostra a figura a seguir:

Figura 3.11 - Gestão estratégica como meio de mudanças



Fonte: Kardek e Nascif, 2009.

O conjunto de atividades estabelecidas pelas políticas e diretrizes de manutenção, juntamente com a integração destas tarefas com outros departamentos (Produção, Financeiro, Recursos Humanos, Comercial etc.), define a manutenção como uma das funções estratégicas da organização, pois as ações conjuntas têm objetivo de impactar positivamente nos resultados do negócio. A Figura 3.12 resume o que a Manutenção almeja como função estratégica:

Figura 3.12 - Visão estratégica da Manutenção



Fonte: Melgar, 2008

Para estabelecer a visão de futuro são usadas metas de padrões, os *benchmarks*, que são indicadores das empresas líderes (classe mundial) do mesmo segmento, a fim de nortear esta cultura de constantes mudanças. Como forma de migrar da situação atual para a visão de futuro são definidas as melhores práticas, que são os caminhos estratégicos, entre eles: Modelo de gestão e as ferramentas a serem usadas, implantação

de um Sistema de manutenção, indicadores de controle, definição do orçamento da manutenção, contratações baseadas em qualificação, implantação das práticas de SSMA etc. (KARDEK; NASCIF, 2009).

Fica nítida a necessidade dos gestores implementarem uma cultura de mudança organizacional, que é um processo dinâmico, e não mais mudanças de cultura organizacional, tido como um processo lento, como força motriz destas transformações. Também é de grande importância que toda a estrutura organizacional, sobretudo as pessoas, participe e tenha comprometimento em executar as boas práticas. Outro importante fator é a necessidade de investir em treinamentos à medida que novos métodos, melhorias e instrumentos sejam inseridos na organização (KARDEK; NASCIF, 2009).

As Metodologias de gerenciamento de manutenção TPM e RCM são alguns instrumentos gerenciais usados como boas práticas (caminhos estratégicos) com objetivo de levar a Manutenção à visão de futuro, e passar a contribuir com os resultados do negócio. É importante dizer que estas são somente ferramentas, assim cabe ao gestor ponderar e adequar os princípios destes instrumentos como forma de auxiliar o trajeto à visão de futuro e não estabelecê-las como objetivos da manutenção, caso contrário os danos podem ser irreversíveis (KARDEK; NASCIF, 2009).

3.5.2 Manutenção Produtiva Total (TPM)

A TPM (*Total Productive Maintenance*) – Manutenção Produtiva Total surgiu no Japão nos anos 60, como uma das ações de implantação da TQM (*Total Quality Management*) – Gestão pela Qualidade Total (GQT), que é um modelo de gestão onde a qualidade é buscada em todo o processo produtivo, desde a transformação das matérias-primas, qualificação da mão de obra, qualidade dos produtos, nos processos de logística que os envolve até a segurança relacionada à saúde e meio ambiente; visando a competitividade empresarial e a satisfação dos colaboradores e principalmente dos clientes (KARDEK; NASCIF, 2009; MATOS, 2018).

Assim, a TPM, adota como princípios na busca pela qualidade: integração da manutenção aos objetivos produtivos, preservação do equipamento, otimização do ciclo de vida, danos ambientais zero, acidentes zero, quebra e falha zero e atuação sobre as

causas raízes das falhas. Como exemplo de causas raízes de falhas, temos: desgastes, atritos, degeneração química e corrosão, trincas e deformações, folgas, ruídos, vibrações, vazamentos, temperaturas elevadas e até mesmo operações indevidas (MATOS, 2018).

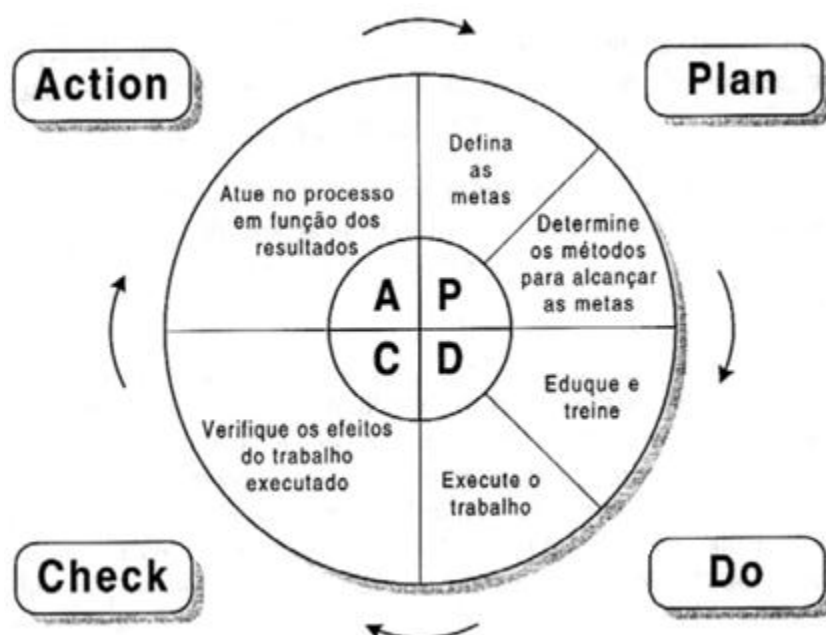
Com relação à preservação dos equipamentos, na gestão de frotas, temos uma importante contribuição do operador do equipamento, como aquele que primeiramente efetua manutenções, ou seja, o operador é a primeira linha de defesa para evitar falhas. Cabe ao operador cuidar do equipamento como se fosse seu, e praticar a manutenção autônoma, que são inspeções buscando identificar defeitos ou desgastes, até mesmo pequenas intervenções, que buscam restabelecer as condições operacionais do equipamento. Quando a intervenção estiver além dos seus conhecimentos ou atribuições, o operador deve comunicar e auxiliar a equipe de manutenção no sentido de restabelecer as condições do item (XENOS, 1998; MATOS, 2018).

Para atingir as metas é necessário estruturar o Sistema de manutenção às necessidades da empresa. Uma das formas universais de atingir metas é o método PDCA (*Plan, Do, Check, Action*) – Planejar, Executar, Verificar, Atuar. Este método é formado por quatro etapas distintas como mostra a Figura 3.13, no qual é possível realizar correções de eventuais desvios nos caminhos que levam as metas (XENOS, 1998).

Xenos (1998, p. 49) define as seguintes etapas para estruturar um Sistema de manutenção de equipamentos compatível aos anseios da empresa e alinhado às necessidades da produção:

- Classificar os equipamentos quanto à importância no Sistema de Produção, definir a frequência de manutenção e forma mais adequada de fazer;
- Executar a manutenção como planejado;
- Verificar a eficácia do sistema de manutenção (itens de controle);
- Tomar as ações corretivas necessárias.

Figura 3.13 - Método de controle de Processos (PDCA)



Fonte: Xenos, 1998.

Assim, como visto na Figura 3.13, o giro no ciclo PDCA é de suma importância para atingir as metas de forma eficiente (fazer certo o reparo) e eficaz (fazer o reparo certo). Quando a gerência de manutenção gira de forma deficiente o PDCA, esta relação (eficiência vs. eficácia) perde força, dificultando assim chegar às metas definidas. Um exemplo é quando a manutenção foca na etapa Fazer (*Do*), ou seja, a correção da falha passa a ser o foco, sem que as outras etapas sejam percorridas. Desta forma, fica difícil estabelecer uma relação de causa e efeito das falhas. Caso o giro seja realizado corretamente, pode-se determinar outras maneiras de realizar o reparo e até mesmo solucionar as causas básicas que produzem a falha (KARDEK; NASCIF, 2009).

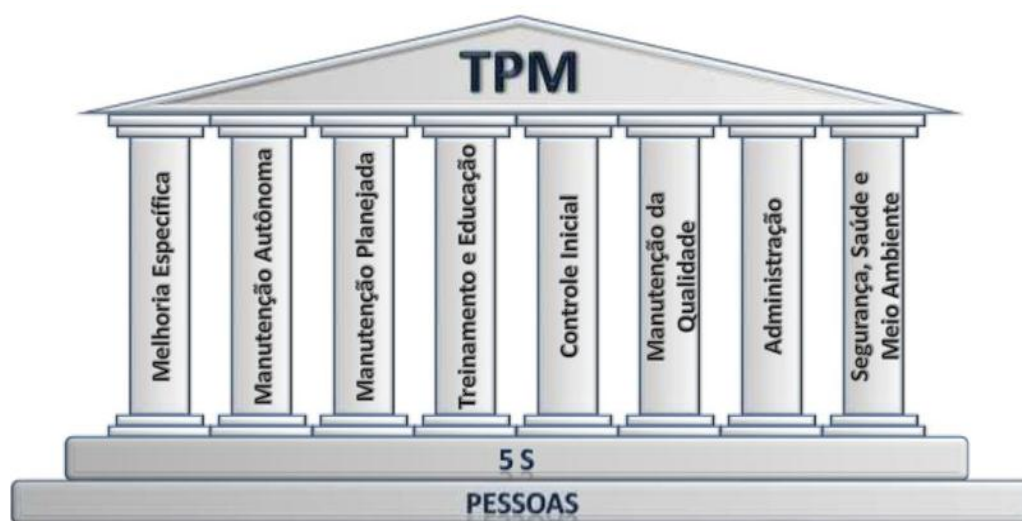
Segundo Matos (2018, p. 52), a condução do planejamento da manutenção, pela metodologia TPM, é suportada por oito pilares, como podemos ver na Figura 3.14. Contudo, antes mesmo de praticar as ações pilares, é de suma importância focar atenção nas pessoas que participam do processo produtivo, desde a gerência até os operadores e mantenedores dos equipamentos, pois a ferramenta por si só nada faz. São as pessoas motivadas, conhecedoras de seus deveres e capacitadas que executaram as ações dos pilares visando a melhoria contínua rumo à qualidade total (KARDEK; NASCIF, 2009; XENOS, 1998).

Como forma de influenciar positivamente as pessoas, o Programa de qualidade 5S é usado como difusor de princípios dentro da organização. Estas são cinco palavras de origem japonesa, onde cada palavra inicia-se com a letra “S”. Xenos (1998, p. 296) explica o princípio básico, cada palavra e seus resultados práticos:

- *Seiri* (Senso de utilização): Princípio de identificar e separar o necessário e o desnecessário. Os resultados são organização, redução de riscos de acidentes, liberação de espaço, reaproveitamento de recursos;
- *Seiton* (Senso de ordenação): Princípio de determinar o local correto para a guarda de equipamentos, ferramentas e peças. Como resultados: a facilidade de encontrar objetos e ganho de tempo e segurança;
- *Seisou* (Senso de limpeza): Princípio de retirar toda sujeira e eliminar as causas raízes. Resultados são: bem estar pessoal, controle sobre estado de conservação dos equipamentos e ferramentas e elevação da qualidade do produto;
- *Seiketsu* (Senso de saúde ou padronização): Inicialmente este era o princípio do cuidado pessoal com a saúde, mas ganhou também a atribuição de estimular o trabalho favorável à saúde física e mental. Os resultados são: colaboradores saudáveis e dispostos, assim como ambiente de trabalho adequado;
- *Shitsuke* (Senso de autodisciplina): Princípio de saber suas responsabilidades em cada tarefa e pôr em prática os princípios do 5S. Resulta em constante desenvolvimento pessoal e profissional, cumprimento dos procedimentos operacionais e previsibilidade dos resultados.

Em resumo, o objetivo destes princípios está em provocar mudanças comportamentais nos setores das empresas que auxiliem na implantação da qualidade. Assim, o programa 5S serve de base para a prática dos pilares da TPM, como explica a figura a seguir:

Figura 3.14 - Os oito pilares da TPM



Fonte: Pinto, 2017.

O 1º pilar – Melhoria específica – Busca incorporar melhorias no processo de manutenção, através da organização das equipes de trabalho, seleção de equipamentos, redução das perdas, análise dos resultados.

O 2º pilar – Manutenção autônoma – Reparos feitos pelo operador do equipamento, como forma de elevar a confiabilidade do mesmo. Para realizar estas novas funções é importante treinar e educar o operador para realizar as ações.

O 3º pilar – Manutenção planejada – Estabelecimento de planos de manutenção dos equipamentos em função do tempo, assim como os controles de execução de tarefas referente à manutenção autônoma ou em oficina pela equipe de manutenção.

O 4º pilar – Treinamento e educação – Intensificar o processo de formação contínua dos operadores e mantenedores dos equipamentos. Criar na organização uma cultura de difusão do conhecimento entre os colaboradores.

O 5º pilar – Controle inicial – Definir as políticas de manutenção dos equipamentos desde sua partida de produção. Estabelecer o gerenciamento dos mesmos, buscando otimização do ciclo de vida.

O 6º pilar – Manutenção da qualidade – Definir quais os programas da qualidade (5S, ISO 9001) e as práticas que serão usadas para impulsionar a melhoria do processo e manutenção da qualidade total.

O 7º pilar – Administração (TPM Office) – Necessidade de definir uma equipe eficaz de retaguarda, que auxiliará na gestão do Sistema de manutenção efetuando o planejamento, programação e controle da manutenção, assim como o controle dos insumos (almoxarifado), pessoal dos recursos humanos capacitados para recrutarem profissionais etc.

O 8º Pilar – SSMA – Para alcançar um elevado padrão de qualidade, o programa foca em melhorias contínuas na segurança operacional, na preservação da saúde dos colaboradores e, sobretudo, no controle das emissões e zero danos ao meio ambiente.

Por ser uma metodologia baseada em princípios, e princípios culturais, podem existir algumas dificuldades na implantação desta filosofia nas empresas. Um dos exemplos citados por Roup (1999 *apud* MELGAR, 2008, p. 13) está na barreira encontrada por empresas americanas em formar os times de manutenção, visto que a cultura americana é distinta da japonesa no quesito cooperação social.

Outro fator citado por Chang (1998 *apud* MELGAR, 2008, p. 13) relaciona a desconfiança dos colaboradores nos verdadeiros objetivos da manutenção autônoma. Alguns passam a enxergar como uma das metas do programa a redução da força de trabalho, e que as tarefas foram redistribuídas, sobrecarregando-os, o que realmente ocorre em algumas empresas onde os princípios e pilares da TPM são mal compreendidos pela gerência. Assim é muito importante para que a implantação da metodologia tenha êxito que ela seja compreendida e aceita pelos funcionários. Logo, o desenvolvimento e treinamento contínuo não devem ser enxergados como gastos desnecessários, mas sim investimentos.

3.5.3 Manutenção Centrada na Confiabilidade (RCM)

A RCM (*Reliability Centered Maintenance*) – Manutenção Centrada na Confiabilidade é uma metodologia que visa prevenir ou minimizar as perdas funcionais de um equipamento. Para alcançar este objetivo, o método estrutura-se em etapas que vão desde o estudo detalhado do equipamento (sistemas e subsistemas que o compõem), da identificação das funções do equipamento e falhas funcionais até a elaboração de um plano detalhado de tarefas da manutenção (KARDEK; NASCIF, 2009; MATOS, 2018).

Assim, as etapas que compõem o processo de implantação da RCM, segundo Matos (2018, p. 54) são:

- Modularização;
- Identificação das falhas funcionais;
- Relacionamento falha funcional x componentes;
- FMEA – *Failure Mode and Effect Analysis* (Análise dos Modos e Efeitos de Falha);
- Seleção de tarefas (Plano de manutenção).

Na 1ª etapa, denominada Modularização, são identificados os sistemas e componentes do equipamento, assim como as suas funções primárias, e, se houver, a secundária, terciária e assim sucessivamente. Em frotas, por exemplo, o sistema de lubrificação do motor possui a função principal de lubrificar as partes móveis; mas também possui a função secundária de informar ao operador se a pressão de óleo do sistema está dentro do indicado para o correto funcionamento. O sistema de lubrificação é composto por: óleo lubrificante, bomba de óleo, pescador, filtros, cárter, sensor de óleo, válvulas de alívio e canais lubrificantes do bloco.

É importante dizer que cada componente pertence a um único sistema. Assim, estabelecer corretamente as fronteiras e os componentes que estão nestes limites e as quais sistemas estes itens pertencem é importante para determinar por quais componentes um sistema é formado. Exemplo para isto é a bomba de óleo, que está ligada ao sistema motriz do motor, mas que não possui a função de mover o equipamento móvel, mas sim de bombear óleo a certa pressão para o sistema de lubrificação. Logo, a bomba de óleo está na fronteira entre os sistemas motriz/lubrificação, mas pertence ao sistema de lubrificação dada sua função.

Na 2ª etapa, são identificadas como cada função pode ser perdida (falhas funcionais). Desta forma, continuando com o sistema de lubrificação:

- Para a função principal (lubrificar as partes móveis do motor) a perda da função seria: não há distribuição do óleo lubrificante às partes móveis; o nível do óleo não está no nível especificado; propriedades do óleo não são as especificadas;

- Para a função secundária (informar a pressão de óleo ao operador): sensor de óleo não mede ou não está medindo corretamente a pressão do sistema.

Na 3ª etapa, é realizada a relação entre componente e as possíveis falhas funcionais que o seu mau funcionamento ou falha pode provocar. Exemplo: a falha da bomba de óleo pode provocar a falha funcional primária e/ou secundária do sistema de lubrificação. Já uma falha no sensor de óleo provocará uma falha na função secundária do equipamento. Este é o ponto de partida para a 4ª etapa.

A 4ª etapa realiza-se por meio da FMEA, a identificação dos modos de falhas e os riscos que estas falhas podem acarretar. A FMEA é uma ferramenta analítica largamente usada nas fases de elaboração, manufatura e manutenção de produtos, e que servirá de suporte para a elaboração do plano de manutenção do equipamento (5ª etapa). A principal desvantagem da ferramenta é a necessidade de experiência técnica e tempo para a sua elaboração. Já como vantagens, temos a formação de um banco de dados com as principais ações de tomada de decisão para cada falha funcional, possibilitando reavaliações futuras e alterações, caso necessário (KARDEK; NASCIF, 2009; MATOS, 2018).

Quando a FMEA tem o objetivo de elaborar um plano de manutenção baseado na criticidade do equipamento deixa de existir uma abordagem qualitativa, migrando para uma abordagem quantitativa, assim a ferramenta é renomeada para FMECA - *Failure Mode and Effect Critically Analysis* (Análise dos Modos, Efeitos e Criticidade de Falha) (KARDEK; NASCIF, 2009). Como podemos observar no Quadro 3.2, esta abordagem relaciona para cada modo de falha a sua frequência, gravidade e detectabilidade e, por fim, calcula-se um índice de risco, NPR – Número de Prioridade de Risco, que é o produto destas três grandezas mencionadas anteriormente, como mostra a Equação 3.19:

$$NPR = Frequência \times Gravidade \times Detectabilidade \quad (3.19)$$

Assim, a FMECA é uma forma de focar nas falhas, suas causas e riscos, com o objetivo de evitar problemas futuros e prejuízos, indicando também quais são as falhas mais importantes a serem controladas através de um indicador, o NPR. Para a Manutenção, uma forma vantajosa de aplicar o FMECA é na análise de falhas já ocorridas (KARDEK; NASCIF, 2009).

Quadro 3.2 - Peso das parcelas componentes do NPR

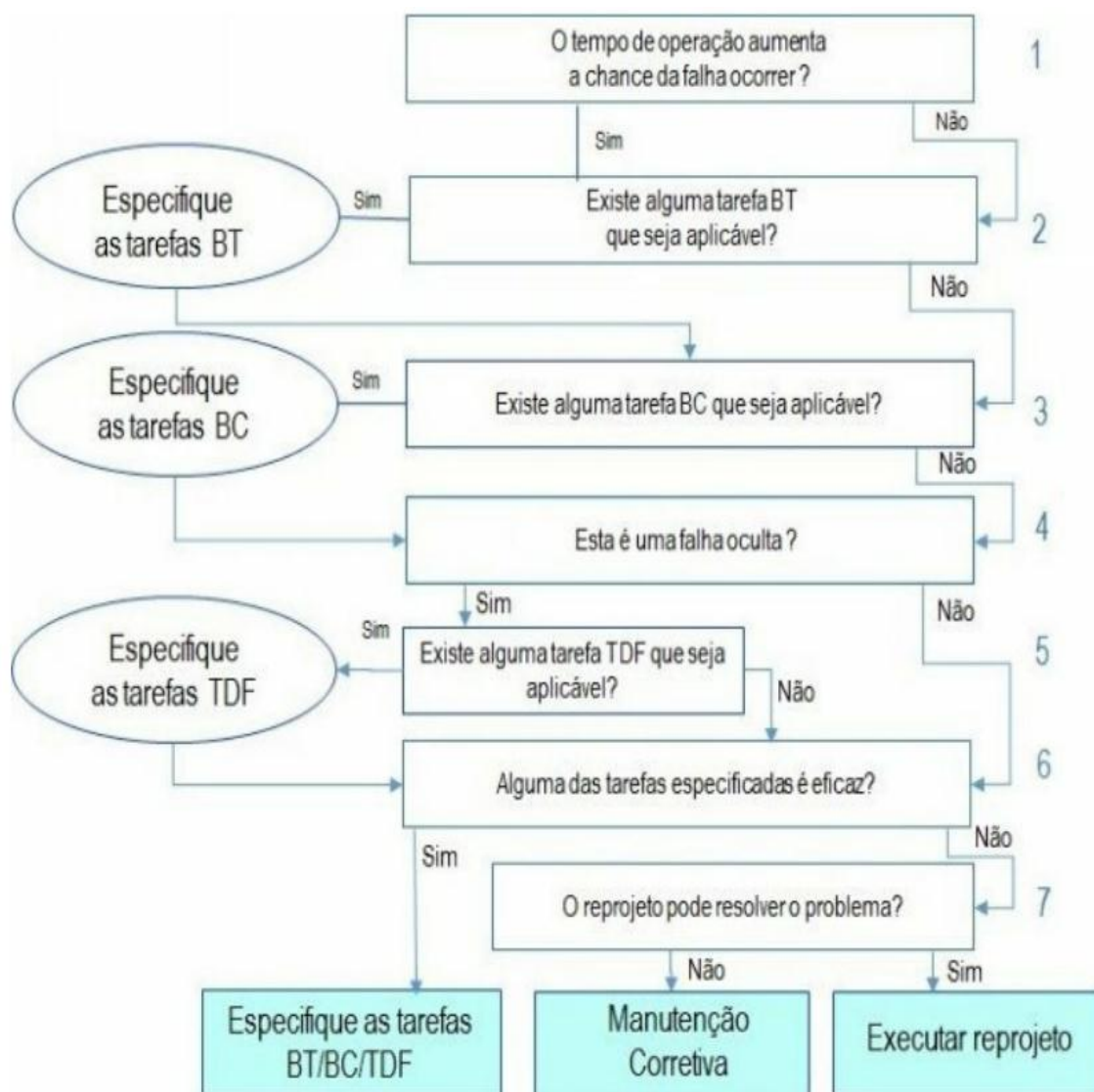
Componente do NPR	Classificação	Peso
FREQUÊNCIA DA OCORRÊNCIA F	Improvável	1
	Muito pequena	2 a 3
	Pequena	4 a 6
	Média	7 a 8
	Alta	9 a 10
GRAVIDADE DA FALHA G	Apenas perceptível	1
	Pouca importância	2 a 3
	Moderadamente grave	4 a 6
	Grave	7 a 8
	Extremamente grave	9 a 10
DETECTABILIDADE D	Alta	1
	Moderada	2 a 5
	Pequena	6 a 8
	Muito pequena	9
	Improvável	10
ÍNDICE DE RISCO NPR	Baixo	1 a 50
	Médio	50 a 100
	Alto	100 a 200
	Muito alto	200 a 1.000

Fonte: Kardek e Nascif, 2009.

Na 5ª etapa, é elaborado o plano de manutenção do equipamento, que é uma seleção de tarefas que objetivam eliminar ou corrigir problemas. Para auxiliar na seleção das melhores tarefas, aplica-se um diagrama de decisão como proposto por França e Fleming (1999 *apud* MATOS, 2018, p. 57) na Figura 3.15. Nesta figura, BT refere-se a tarefas baseadas no tempo; BC, baseadas na condição e TDF são aplicações de testes para detectar uma falha oculta.

Assim, o resultado da aplicação da RCM será um plano de manutenção, que buscará definir bem as tarefas e procedimentos para solucionar ou diminuir as consequências de falhas funcionais, focando na preservação das funções dos equipamentos, favorecendo o aumento da confiabilidade, disponibilidade e segurança a um custo ótimo (MATOS, 2018). A aplicação da FMECA na metodologia RCM também visará determinar os componentes, sistemas e subsistemas do equipamento móvel, possibilitando o controle destes itens através dos indicadores de disponibilidade, confiabilidade, manutenibilidade e seus fatores, custos de aquisição e manutenção etc. que servirão de base para a gestão da manutenção e da qualidade no Modelo de gestão que será elaborado na próxima seção.

Figura 3.15 - Diagrama de decisão



Fonte: Matos, 2018.

A pesar dos inúmeros casos de sucesso na implantação da metodologia RCM no mundo, Chang (1998 *apud* MELGAR, 2008, p. 13) chama a atenção às dificuldades de estabelecê-la, primeiramente devido ao consumo elevado de recursos, principalmente tempo e humano, no desenvolvimento das etapas do processo de implantação, e segundo, pela falta de envolvimento e participação efetiva dos colaboradores da manutenção e operação na criação e desenvolvimento do projeto (MATOS, 2018).

Chang (1998 *apud* MELGAR, 2008, p. 13) ainda oferece uma estimativa de que 60% das empresas norte-americanas que implantaram a metodologia a abandonaram cerca de 1 a 2 anos após a implantação por existirem formas mais simples e econômicas a serem primeiramente utilizadas na solução dos problemas enfrentados pela

Manutenção. Outra importante observação é exposta por Sherwin (2000 *apud* MELGAR, 2008, p. 13) que aponta inúmeros erros conceituais na proposta do RCM e que a metodologia é incompleta sob o ponto de vista de Sistema de manutenção, pois seu foco está nos Equipamentos, que é um das estruturas (subsistemas) pertencentes a um Sistema de manutenção. Desta forma, desconsiderando outras estruturas tão importantes para o gerenciamento, tais como a Humana, a metodologia RCM necessita ser complementada, para assim garantir bons resultados gerenciais. Por isso, faremos uso conjunto das metodologias TPM e RCM, desta forma as deficiências de uma serão supridas pela outra e vice e versa.

3.5.3.1 Taxa de falha e Política de manutenção

Para fazer a seleção das tarefas de manutenção de forma eficaz é importante compreender o comportamento da falha, ou seja, como o item se desgasta em função do tempo, e também qual a relação deste desgaste com as atividades funcionais e o meio que o componente está exposto (corrosão, ataque químico, poeira, vibrações etc.).

Como já abordado no tópico 3.3.4.1, somente 1 em cada 8 itens possuem taxa de falhas relacionadas ao tempo de uso, o que para esses é conveniente adotar uma política de manutenções preventivas. Já para os outros 88% dos itens, esta abordagem preventiva poderá implicar em diminuição da disponibilidade devido ao excesso de intervenções e não garantirá aumento de confiabilidade, pois para taxa de falhas constantes a mera substituição do item não eleva a confiabilidade, além de incorrer no risco da inserção de erros humanos na montagem e contaminação do sistema do equipamento.

Caberá à gerência da manutenção determinar as Políticas e Diretrizes de manutenção: métodos de manutenção (corretiva, preventiva, preditiva); calendários, planos e procedimentos de manutenção e inspeção; formação de históricos que permitam determinar o momento certo da manutenção, ou seja, quando o item estiver próximo ao fim de vida. Desta forma, os custos de manutenção serão equilibrados e a disponibilidade dos equipamentos será elevada, o que é importante para solidificar a competitividade da empresa no mercado, garantindo assim, o cumprimento da tarefa da Manutenção como função estratégica (CAMPOS; BELHOT).

4. DESENVOLVIMENTO DO MODELO

4.1 O SISTEMA DE MANUTENÇÃO

A depender do tipo de atividade desenvolvida pelo setor produtivo, pode ser necessário adicionar outros subsistemas ao Sistema de manutenção. Para frotas de mineração, há necessidade de um subsistema mitigador relacionado às ações do Sistema produtivo e de manutenção, que por vezes podem causar danos ambientais, ou caso não cause danos, os efeitos do processo podem interferir de alguma maneira na fauna e flora da região, assim como na rotina da população nas proximidades da empresa. Sendo assim, Melgar (2008, p. 44) cita como subsistema a Estrutura de responsabilidade social, que tem objetivo de promover políticas de desenvolvimento sustentável, gestão e controle ambiental aliado ao desenvolvimento social no entorno da empresa.

Logo, o Sistema de Manutenção sugerido será composto pelos seis subsistemas demonstrados, de forma sistemática, na Figura 4.1. Convém dizer que a primeira contribuição deste trabalho refere-se ao desenvolvimento deste Sistema de manutenção para frotas de mineração, pois relaciona duas abordagens, uma desenvolvida por Matos (1999) e outra desenvolvida por Melgar (2008) como podemos ver no Quadro 4.1.

Quadro 4.1 - Sistemas de manutenção de referência

MATOS, 1999	MELGAR, 2008
<ul style="list-style-type: none"> • Humana; • Física; • Lógica; • Logística; • Equipamentos Produtivos 	<ul style="list-style-type: none"> • Humana; • Física; • Lógica; • Logística; • Responsabilidade social

Fonte: Matos, 1999; Melgar, 2008 (Adaptado).

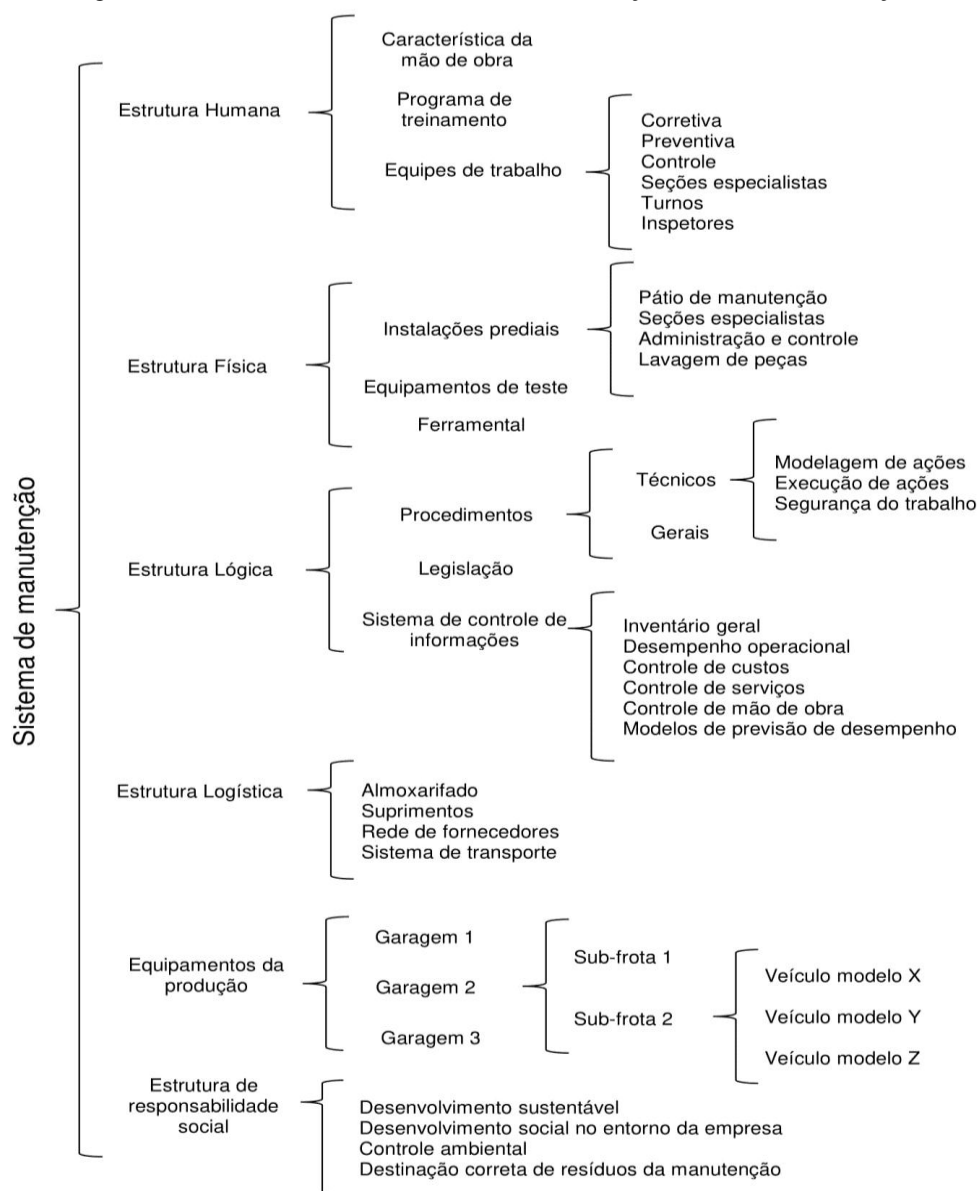
Chamamos a atenção para as seguintes ações da estrutura de responsabilidade social:

- Desenvolvimento social: devemos entender esta ação como promotora de melhorias na vida da população no entorno da empresa. Em frotas, observa-se uma dificuldade em encontrar mão de obra capacitada, seja pelo baixo nível de escolaridade e, muitas vezes, pela baixa qualificação profissional da mão de obra decorrente da deficiência de centros formadores de profissionais. Sendo assim, esta ação pode voltar-se a desenvolver parcerias com Instituições de Ensino, que além de desenvolverem o programa de treinamento dos próprios colaboradores

da empresa, atuem no desenvolvimento de mão de obra qualificada no entorno da empresa. Outra ação de desenvolvimento são as próprias vagas de trabalho geradas pelo empreendimento.

- Destinação de resíduos: esta ação é reflexo da qualidade total implantada pelo pilar da segurança, saúde e meio ambiente juntamente com 5S. Os resíduos de manutenção são diversos: óleos e graxas, pneus, chapas metálicas, água contaminada com óleo pós-lavagem, correias, baterias, eletrônicos etc. Manter o controle e destinar corretamente estes resíduos em parceria com o Departamento de meio ambiente é de suma importância para o uso consciente dos recursos e reaproveitamento dos resíduos.

Figura 4.1 - Subsistemas de um Sistema de manutenção de frota de mineração



Fonte: Autor, 2018 (Adaptado de Matos, 1999; Melgar, 2008).

4.2 O MODELO DE GESTÃO

Um modelo de gestão é uma estrutura que visa integrar os fluxos de informações que são destinados a um sistema. Logo, em um Sistema de manutenção as entradas ocorrem de diversos modos, vindas de diversos departamentos ou sistemas, correspondendo a diversos graus de importância e necessidades de atendimento. Assim, gerir estas entradas e transformá-las em saídas ordenadas e eficientes, e que possibilitem efetuar medidas de desempenho é a atribuição de um modelo de gestão.

Faremos um exemplo didático antes de prosseguirmos. Certo Sistema de manutenção de frotas é responsável pelos reparos dos equipamentos produtivos. Para efetuar uma manutenção preventiva, o equipamento necessariamente ficará dois dias parado. O Sistema de Manutenção não pode simplesmente parar o equipamento e efetuar o procedimento sem antes saber se o Sistema Produtivo fará uso do veículo. Assim, é importante que a Produção informe à Manutenção o seu planejamento de produção para o equipamento. Caso haja uma janela de dois dias sem planejamento de uso do equipamento, a Manutenção poderá executar o serviço. Mas somente esta informação não é suficiente. Outras entradas são necessárias, por exemplo: o almoxarifado deverá informar se os itens e insumos necessários para a intervenção estão disponíveis; caso haja necessidade de serviços terceirizados, o departamento de compras tem que confirmar se o pedido foi aprovado; o próprio Sistema de manutenção tem que informar se existe mão de obra, ferramentas, estrutura física, insumos para a execução do serviço.

Caso todas estas entradas sejam positivas, será dado início à manutenção preventiva do equipamento. Mas o fluxo de informações não para por aí. Ao terminar o serviço, o Sistema de manutenção deve comunicar ao produtivo que o equipamento está pronto; e se o serviço ocorreu dentro do prazo, caso a produção tenha interesse em informações da ordem: quais sistemas sofreram manutenção? Quais itens foram trocados? Ficaram serviços pendentes? O Sistema de manutenção deve informar. Outros sistemas podem necessitar de informações do Sistema de manutenção, exemplo, o departamento de compras pode solicitar um retorno sobre a qualidade do serviço terceirizado visando avaliá-lo para futuras contratações.

O Sistema de manutenção ainda deve transformar os dados coletados do equipamento em informações, exemplo: inspeção nos pneus e desgastes observados,

quilometragem do equipamento, condições do sistema de ar, quais intervenções foram efetuadas, melhorias e reprojeto, tempo de manutenção, quantos homens participaram do serviço; todos estes dados devem ser lançados nos controles específicos, sejam em sistemas informáticos de manutenção ou planilhas eletrônicas, objetivando a retirada de indicadores e assim avaliar os resultados do Sistema de manutenção e do Modelo de gestão.

Melgar (2008, p. 46) em seu estudo aponta um modelo de avaliação dos níveis de manutenção adaptado de Hanson e Voss (1995), que tinha intenção de avaliar os indicadores entre Sistemas de manutenção de frotas, como podemos observar na Figura 4.2.

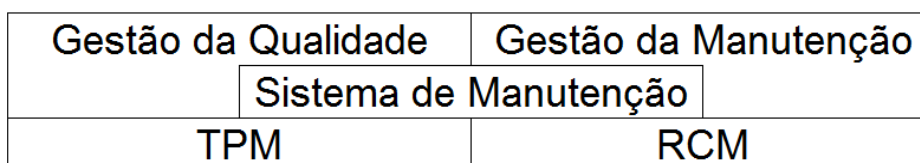
Figura 4.2 - Modelo de avaliação dos níveis da manutenção



Fonte: Melgar, 2008 (Adaptado de Hanson e Voss, 1995).

Adaptando o modelo de avaliação de Melgar (2008), as necessidades, objetivos e bases do Sistema de manutenção desenvolvido, temos o seguinte modelo estrutural:

Figura 4.3 - Modelo estrutural

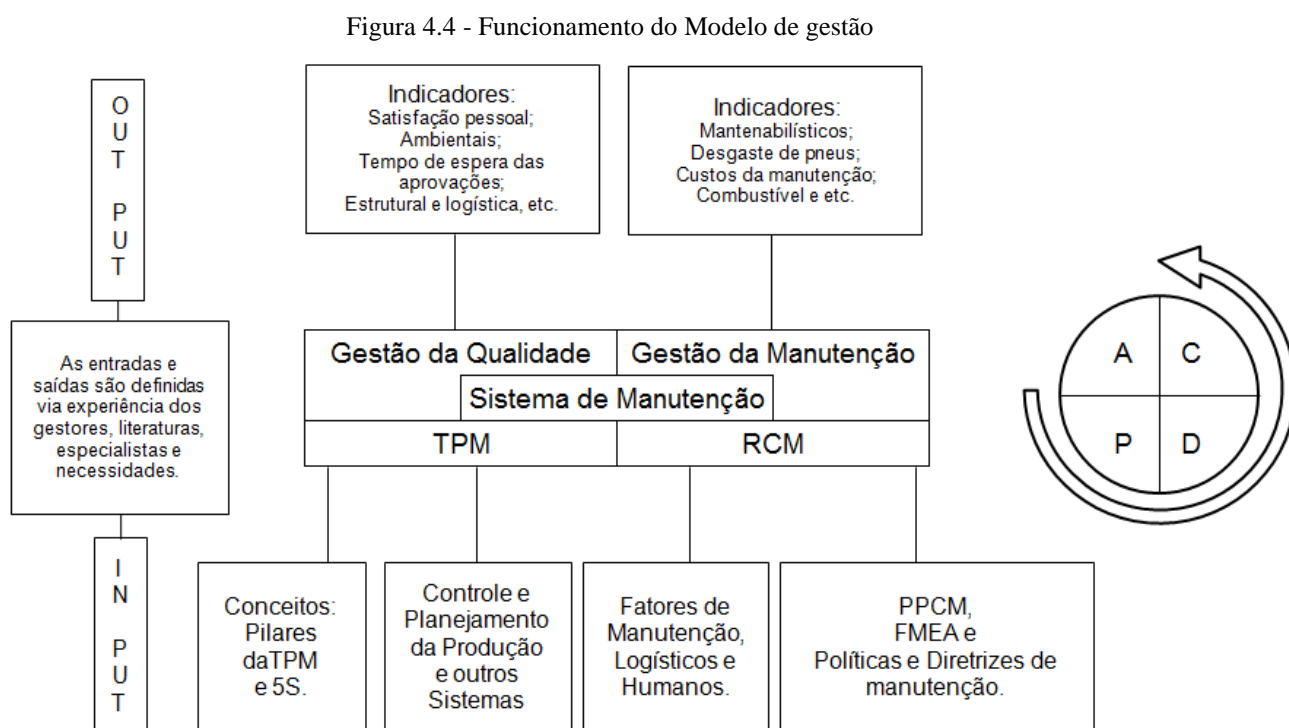


Fonte: Autor, 2018 (Adaptado de Melgar, 2008).

O modelo estrutural desenvolvido será baseado nas metodologias de gerenciamento TPM e RCM. A união destas metodologias se fez necessário devido minimizar possíveis desvios intrínsecos, assim como extrair as melhores ações de cada

metodologia. Vejamos, a TPM possui excelentes conceitos sobre as estruturas Humanas, Físicas e Logísticas, mas sua abordagem Lógica e, sobretudo, na estrutura de Equipamentos, não consegue ser tão detalhada como a encontrada através da RCM com o FMECA. Já a RCM, como já dito, possui deficiência, ou até mesmo não contempla a abordagem para a estrutura Humana. Desta forma, unindo as metodologias, podemos extrair uma base sólida, que permite evoluir as entradas para o Sistema de manutenção, alinhando conceitos práticos e qualitativos encontrados na TPM a um método sistemático e passível de um desenvolvimento matemático encontrado na RCM.

Como resultado deste terno: Sistema de manutenção, TPM e RCM, teremos um Modelo de gestão que possibilitará a atuação e controle em duas frentes básicas: Gestão da Manutenção e Gestão da Qualidade. A simplicidade do modelo é proposital, pois sua aplicação visa adequar-se a Sistemas de manutenção de menor grau de complexidade até os mais estruturados; sem necessariamente torná-lo ineficiente, pois ao unir a gestão da manutenção com a qualidade podemos evoluir os resultados de indicadores nas mais diversas interfaces dos Sistemas, bastando para isso adicionar módulos de entrada e saída que supram as necessidades práticas de cada Sistema de manutenção, como podemos observar na Figura 4.4:



Fonte: Autor, 2018.

4.2.1 Módulos de entrada do Modelo de Gestão

O Modelo de gestão sugerido possui quatro módulos de entrada, que estão relacionados à teoria apresentada na fundamentação teórica, mas nada impede que no decorrer da evolução, ou a depender das necessidades de cada Sistema de manutenção, novos módulos possam ser adicionados tanto na entrada como na saída. Outra observação necessária é sobre a utilização contínua do método de controle PDCA como ferramenta de suporte à tomada de decisões de planejamento, execução, verificação e correções dentro do Sistema de manutenção e todos os outros que estejam relacionados a ele.

Os módulos de entrada podem ser oriundos de diversas ordens: dados quantitativos ou qualitativos inseridos em um sistema informático, modelos matemáticos, teorias organizacionais, teorias comportamentais, treinamentos, as políticas e diretrizes da manutenção, dados particulares aos equipamentos (planos e prazos de manutenção, controle do horímetro, dados de falhas, histórico de manutenção etc.), consumo de combustível, políticas de contratações, mão de obra, fluxo de informações entre os diversos sistema da organização etc.

4.2.2 Módulos de saídas do Modelo de Gestão

Os módulos de saída podem estar vinculados à transferência e demonstração de informações do Sistema de manutenção para outros Sistemas organizacionais, semelhante modo ao módulo de entrada, mas também a informações dos resultados pertinentes ao Sistema de manutenção, que aqui são chamados de indicadores.

Estes indicadores são relações entre as informações oriundas dos módulos de entrada, assim como as resultantes das transformações que ocorrem no próprio Sistema de manutenção. Logo, os indicadores são os resultados almejados pelo Modelo de gestão, pois são através destes dados, sejam eles quantitativos ou qualitativos, que a tomada de decisão pode ser realizada de forma eficaz. Lave lembra que os indicadores de manutenção podem ser diferenciados em Funcionais, quando ligados aos resultados dos sistemas veiculares, ou de Gestão que trazem resultados voltados à orientação da tomada decisão seguindo os anseios das diretrizes organizacionais.

O processo de relacionamento e concepção dos indicadores será definido via necessidades específicas de cada Sistema de manutenção, assim como dos seus Sistemas clientes. As grandezas dos indicadores variam de: quantos litros de combustível são consumidos em média, por dia; quantas toneladas de matéria-prima são transportadas por litro de combustível; desgaste médio de pneus por unidade de tempo; grandezas dos indicadores de disponibilidade, manutenibilidade e confiabilidade, custos médios de manutenção, custo anual de insumos; e quaisquer outras relações de grandezas que suas determinações sejam consideradas importantes para o gerenciamento do Sistema de manutenção.

Para cada tipo, grau de importância e forma de modelagem dos indicadores será necessário o desenvolvimento ou ampliação dos sistemas informáticos, compra de computadores e servidores, treinamento de pessoal, ferramental e equipamentos, entre outras estruturas necessárias à modelagem e implantação dos indicadores.

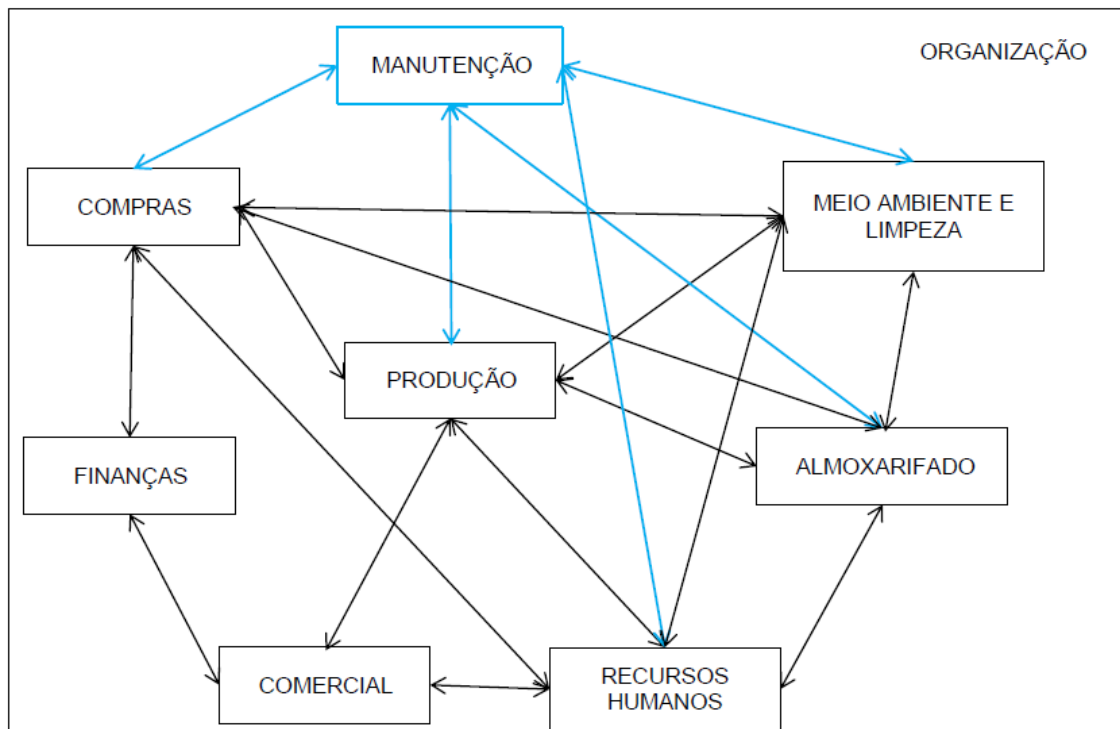
No Modelo de gestão apresentado, foram sugeridos dois módulos de saída, um voltado aos indicadores de manutenção que apresenta os resultados e informações da Gestão da manutenção e outro relacionado à Gestão da Qualidade, que apresenta indicadores relacionados à: satisfação pessoal dos colaboradores do Sistema de manutenção, aos tempos administrativos no processo de compras, indicadores ambientais etc.

4.2.3 Indicadores do Sistema de Manutenção

Os indicadores dos Sistemas, como já dito, são utilizados para determinar a eficiência de suas ações. Para isso relacionam-se grandezas das mais diversas ordens, tais como: custos de manutenção, consumo de combustível, desgastes dos itens, disponibilidade, confiabilidade, taxa de falha, relação hora-homem, relação hora-máquina etc.

Na Figura 4.5 vemos em azul a interação (fluxos) entre alguns dos Sistemas organizacionais como o Sistema de manutenção. Para cada relação entre Sistemas, podemos determinar indicadores relacionados à Gestão da manutenção e da qualidade.

Figura 4.5 - Interações de fluxos entre Sistemas da organização



Fonte: Autor, 2018.

Primeiramente, bordaremos alguns indicadores que podem estar relacionados aos fluxos de informações entre os Sistemas de Manutenção e Produção:

- Indicadores mantencilísticos: estes indicadores estão relacionados aos tempos, frequências e custos de manutenção. É possível efetuar uma análise primeiramente local, ou seja, em cada sistema veicular com indicadores Funcionais e evoluir através das somas de resultados para indicadores de Gestão que relacionam todos os equipamentos produtivos;
- Indicadores de disponibilidade: também podem ser evoluídos de uma abordagem local para um equipamento da frota até a totalidade dos equipamentos. As três abordagens de disponibilidade (seção 3.4.3) podem ser usadas para direcionar ações desde a melhor orientação do plano de manutenção até a eficiência do Sistema de manutenção considerando os atrasos provenientes do processo;
- Indicadores de confiabilidade: este indicador pode ser utilizado para melhor adequar os equipamentos móveis as características operacionais. Arelado à confiabilidade está a taxa de falha que orienta o processo de adoção das políticas de manutenção que estabelecem custos “ótimos” ao processo;

- Consumo de combustível: este indicador pode estar relacionado ao consumo de um ou todos os equipamentos produtivos, de forma média ou específica e em diferentes escalas de tempo (dia, mês, ano);
- Toneladas de matéria prima por litro de combustível: este indicador pode ser estabelecido pela razão da quantidade de matéria prima transportada pela quantidade de combustível consumida. Este indicador pode ser dado para um ou para todos os equipamentos, em diferentes escalas de tempo;
- Desgaste de pneus por tempo de funcionamento: as medidas de desgastes podem ser aplicadas a todos os itens dos diferentes sistemas veiculares que necessitem acompanhamento. Para pneus o indicador pode ser dado pelo desgaste em milímetros dos pneus para cada intervalo de tempo (horas ou quilômetros).
- Custos com insumos, sobressalentes e mão de obra: indicador voltado a determinar os valores gastos com insumos (óleos, graxas, combustível, água, energia), peças de reposição e mão de obra, seja própria ou terceirizada. Para determinar os custos com a mão de obra é importante ter controle sobre quantos homens praticam manutenções sobre determinado equipamento e quanto tempo estes homens demandaram para concretizar o procedimento.

Em relação ao relacionamento do Sistema de manutenção com Compras, Recursos Humanos, Almoxarifado e Meio ambiente e limpeza, temos respectivamente:

- Indicador de solicitações em atraso: este indicador permite visualizar o montante e solicitações que estão em atraso e que podem prejudicar o bom andamento do Sistema de manutenção, tanto em atraso dos serviços como na falta de sobressalentes e insumos.
- Absenteísmo e rotatividade: estes indicadores consideram a quantidade de faltas e demissões dos funcionários da organização, respectivamente. No sentido de indicar as faltas, objetiva visualizar os custos e perdas com os funcionários faltosos. Já visualizar as demissões possibilita uma análise da satisfação dos funcionários com a organização, assim como perdas provenientes da saída de um funcionário treinado do grupo.
- Tempo de atendimento de solicitações ao almoxarifado: considerar os atrasos provenientes do tempo de espera no almoxarifado é importante no sentido de atacar de forma mais eficientes os atrasos existentes no Sistema de manutenção.

- Carga de detritos lançados no meio: este indicador pode ser tratado considerando detritos líquidos (litros de óleos, água contaminada, combustíveis), sólidos (toneladas de pneus, baterias, mangueiras) ou gases provenientes da queima dos combustíveis dos equipamentos considerando a quantidade de combustível consumido pelos equipamentos. Este indicador tem o objetivo de efetuar as compensações das agressões provenientes do Sistema de manutenção ao meio ambiente, esta compensação é um dos resultados da estrutura de Responsabilidade social.

Outros indicadores podem ser necessários tanto em níveis funcionais como gerenciais, sendo assim, a adoção se dará pela necessidade da Organização.

4.3 ITENS QUE REQUEREM CUIDADOS ESPECIAIS

Em frotas de mineração, alguns itens podem necessitar atenção especial. Basicamente, o que definirá esta necessidade é o grau de criticidade da falha do equipamento, considerando os mais diversos aspectos: importância no sistema produtivo, riscos ambientais e operacionais, custos decorrentes das falhas, interferência da falha do item em outros sistemas do equipamento móvel, relação da falha com a qualidade e satisfação do cliente, entre outros.

Logo, fica evidente a importância da execução da FMECA na determinação dos itens que necessitaram de cuidados especiais. Não adianta aplicar uma solução genérica (políticas de manutenção) para todos os itens quando o que se espera do Sistema de manutenção é a eficiência alinhada à eficácia. E muitas vezes, a quantidade de itens sob a responsabilidade do Sistema de manutenção está muito além da capacidade operacional do fator humano presente nesse Sistema. Assim, identificar quais são os itens mais importantes e estabelecer prioridades é a chave para alcançar a máxima disponibilidade dos equipamentos a um custo correto.

Pneus e os materiais rodantes (esteiras e rodas) são exemplo de itens que requerem cuidados especiais. Isto se deve primeiramente ao custo destes elementos e também a criticidade de falha representar indisponibilidade do equipamento e risco à integridade física do operador. Logo, efetuar o acompanhamento de desgaste, seja dos pneus ou materiais rodantes, é importante para efetuar um levantamento de custos e

determinar o momento ótimo da troca ou reforma do item. Para estes itens, costuma-se relacionar na determinação do indicador “desgaste de pneus” quantos milímetros de borracha foram desgastados para cada unidade de tempo (quilômetro ou horas de funcionamento). Outros itens importantes são: mangueiras de alta pressão, filtros de ar e óleo, sistema de freio, sistema motriz e direção, sistema elétrico.

Óleos, graxas e combustível (Diesel) são insumos que estão sob controle do Sistema de manutenção e que necessitam de cuidados especiais, devido ao alto valor agregado durante um período de uso, geralmente um ano. Outro fator que torna estes insumos tão importantes é a relação que existe entre a sua qualidade e bom armazenamento sob a vida útil do item que será exposto ao insumo. Exemplo, um óleo Diesel de boa qualidade e bem armazenado diminuirá os riscos de sobrecarga no sistema de filtragem, assim como um óleo de motor de boa qualidade na especificação correta será um prolongador da vida útil das partes móveis de um motor.

4.4 DESVIOS EM SISTEMAS DE MANUTENÇÃO

A oportunidade da pesquisa de campo foi de grande importância, pois permitiu o contato diário com um Sistema de manutenção, já implementado, possibilitando visualizar além dos itens que requerem cuidados especiais, os desvios encontrados no Sistema, decorrentes de falha do planejamento e controle, erros humanos na operação dos equipamentos, atrasos logísticos (departamento de compra ou fornecedores), erros humanos na execução do plano de manutenção, erros na concepção do plano de manutenção, políticas de manutenção equivocadas, não cumprimento dos prazos de manutenção, entre outros.

Logo, é importante que a gerência de manutenção esteja atenta a estas anomalias, aplicando para isso a metodologia PDCA, evitando que estes ou outros desvios se instalem no Sistema de Manutenção e Modelo de gestão, aqui sugeridos. Caso contrário, a eficiência gerencial poderá ser comprometida.

Outra ação que possibilita a minimização destes desvios são investimentos em infraestrutura, ferramental, veículos adaptados às características operacionais da produção, implantação de um sistema informático que possibilite inserção de dados dos equipamentos ou dos mais diversos fluxos de comunicação e que gerem informações

(indicadores) sobre a saúde do Sistema de manutenção. Por fim, o investimento mais importante é destinado ao fator humano, devido ser esta estrutura a geradora de transformação. Investir em treinamento e qualificação contínua dos profissionais, não só do Sistema de manutenção, trará resultados relacionados em todas as esferas da organização, elevando a eficiência operacional da empresa culminando no objetivo principal, que é a permanência no mercado.

5. CONCLUSÃO

O desenvolvimento de métodos que visem a auxiliar a gestão dos recursos de um sistema, seja ele qual for, é de suma importância quando se objetiva elevar a eficiência dos processos e solidificar as bases de uma Organização. Assim, a gestão de um Sistema de manutenção objetiva não só empregar a Manutenção como promotora de transformações nos seus próprios subsistemas, mas também como função estratégica através do fluxo de informações entre os mais diversos Sistemas organizacionais, possibilitando a empresa tornar-se cada vez mais competitiva.

A manutenção de frotas, em específico no setor de mineração, possui particularidades, que caso não exista o controle adequado do processo pode significar o fracasso do negócio. Estas particularidades estão ligadas tanto à gestão dos equipamentos como dos insumos e meios necessários ao andamento da empresa.

Os controles da gestão possibilitarão efetuar análises e levantamentos das mais diversas grandezas existentes no processo. Uma que convém citar é a políticas de renovação da frota, que será produzida mediante a disponibilidade dos indicadores de desempenho que oriente o processo decisório. O mesmo pensamento deve ser empregado para a gestão dos insumos, seja no controle quantitativo consumido pelo processo, assim como no montante dos custos, e no controle do momento correto da substituição dos itens, o que pode trazer economia substancial à Organização.

Além das questões relacionadas aos custos, os fatores humanos e ambientais devem ser priorizados, pois as transformações de um Sistema só serão exitosas caso os usuários do sistema e o meio que a estrutura está inserida estejam em coesão e cooperação mútua. Logo, a questão que deu origem a este trabalho surgiu justamente desta necessidade de gerenciar o processo de manutenção buscando o desenvolvimento sustentável, sem para isso sacrificar a eficiência do Sistema.

Desta forma, uma das contribuições do trabalho foi oferecer uma estruturação mais detalhada do Sistema de manutenção ao introduzir a Estrutura de responsabilidade social, a fim de solucionar a questão motivadora do estudo. Detalhar as ações pertinentes à estrutura, tais como desenvolvimento social e destinação de resíduos embasaram esta nova visão contemplada no Sistema. Outra contribuição foi o desenvolvimento do Modelo de gestão baseado nas metodologias TPM e RCM que, em

conjunto, estabelecem no processo a utilização de ferramentas adequadas a cada uma das estruturas do Sistema de manutenção. O objetivo desta abordagem é justamente conferir ao processo maior eficiência e possibilidade de controlar as estruturas de forma individualizada, atacando qualquer desvio direto na fonte do problema.

Com isso, os objetivos, principal e específicos detalhados no início do estudo, foram cumpridos, possibilitando a apresentação do conceito de indicadores de manutenção, levando à compreensão da necessidade de possuir estes resultados para o correto gerenciamento do Sistema e processo decisório.

Uma das dificuldades enfrentadas no estudo foi a carência de informações em trabalhos acadêmicos, revistas científicas, bibliografias sobre Sistemas de manutenção para frotas de mineração, por isso, alguns conceitos da manutenção industrial foram usados e adaptados à realidade da área estudada, assim como conceitos da manutenção de frotas ligadas ao setor logístico e transporte de pessoas.

O Modelo de gestão é somente uma concepção teórica, sendo assim, ainda é necessário aplicá-lo a um Sistema de Manutenção, na busca de sua validação como método de gestão. Surge desta condição oportunidades para trabalhos futuros, que podem ser direcionados a: simples utilização do modelo estrutural do Sistema de manutenção aliado ao Modelo de gestão; utilização única do Modelo de gestão em um Sistema já implementado; o desenvolvimento lógico mais refinado que suporte os fluxos de informação, possibilitando a obtenção dos resultados (indicadores) e comunicação entre Sistemas da organização mais eficiente.

Outra sugestão para trabalhos futuros está relacionada à formação de histórico de manutenção, os dados de falhas, que possibilitem ver se esta abordagem matemática aqui apresentada para a taxa de falha, com intuito de simplificar a aplicação, é suficiente para determinar as políticas de manutenção aos quais os equipamentos estarão submetidos, comparando os indicadores obtidos por *softwares* de manutenção aos obtidos simplificadamente na seção 3.4.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 5462: Confiabilidade e manutenibilidade**. Rio de Janeiro. 1994.

CAMPOS, F. C; BELHOT, R. V. **Gestão de manutenção de frotas de veículos: uma revisão**. Gest. Prod. [online]. 1994, vol.1, n.2, pp.171-188. ISSN 0104-530X. Disponível em: <<http://dx.doi.org/10.1590/S0104-530X1994000200004>>. Acessado em 21 set. 2018.

CAMPOS, V. F. **Controle da Qualidade total (no estilo japonês)**. 8ª edição. Nova Lima – MG: INDG Tecnologia e Serviços Ltda, 2004.

CORONADO, J. T. et al. **Marco de Referencia de la Aplicación de Manufactura Esbelta en la Industria**. Cienc Trab. Santiago, v. 19, n. 60, p. 171-178, dez. 2017. Disponível em: <https://scielo.conicyt.cl/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S071824492017000300171&lng=pt&nrm=iso>. Acesso em 21 ago. 2018. <http://dx.doi.org/10.4067/S0718-24492017000300171>.

CYRINO, L. **Distribuição de Weibull**. Disponível em <<https://www.manutencaoemfoco.com.br/distribicao-de-weibull/>>. Acesso em 09 nov. 2018.

DUARTE, V. M. N. **PESQUISAS: EXPLORATÓRIA, DESCRITIVA E EXPLICATIVA**. Disponível em <<https://www.normaseregras.com/normas-abnt/referencias/>>. Acesso em 04 set. 2018.

FERNANDES, M. E. **Modelo Computacional para gestão de frotas utilizando Manutenção Centrada na Confiabilidade**. 2010. 154f. Tese – Universidade Metodista de Piracicaba, Santa Bárbara d'Oeste, 2010.

GERHARDT, T. E; SILVEIRA, D. T. **Métodos de pesquisa**. 1ª edição. Porto Alegre – RS: Editora da UFRGS, 2009.

GIL, A. C. **Como elaborar projetos de pesquisa**. São Paulo: Atlas, 2002.

KARDEC, A.; FLORES FILHO, J. F.; SEIXAS, E. S. **Gestão estratégica e indicadores de desempenho**. 1ª edição. Rio de Janeiro: Qualitymark: ABRAMAN, 2002.

KARDEK, A; NASCIF, J. **Manutenção: Função estratégica**. 3ª edição rev. e ampl. – Rio de Janeiro – RJ: Qualitymark, 2009.

KARDEK, A; NASCIF, J. **Manutenção: Função estratégica**. 4ª edição rev. e ampl. – Rio de Janeiro – RJ: Qualitymark, 2012.

LIMA, E. R. P. **Políticas públicas e juventude brasileira**. 2013. 40f. Monografia – Universidade Federal da Paraíba, João Pessoa, 2013.

MATOS, F. F. C. **Gestão de Manutenção de Frotas: Orientada pela Eficácia Funcional**. 1ª edição. Salvador – BA, 2018.

MATOS, F. F. C. **Metodologia para planejamento e estruturação de sistemas de manutenção de frota automotiva**. 1999. 180f. Dissertação – Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 1999.

MELGAR, O. B. A. **Modelo de diagnóstico para sistemas de manutenção de frotas**. 2008. 120f. Dissertação – Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2008.

MENDES, A. A.; RIBEIRO, J. L. D. **Estabelecimento de um plano de manutenção baseado em análises quantitativas no contexto da MCC em um cenário de produção JIT**. Prod., São Paulo, v. 24, n. 3, p. 675-686, set. 2014. Disponível em <http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S010365132014000300015&lng=pt&nrm=iso>. Acesso em 21 ago. 2018. Epub 10-Set-2013. <http://dx.doi.org/10.1590/S0103-65132013005000065>.

MENDES, A. A.; RIBEIRO, J. L. D. **Um estudo do suporte quantitativo necessário para a operacionalização da MCC**. Prod., São Paulo, v. 21, n. 4, p. 583-593, 2011. Disponível em <http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0103-65132011000400004&lng=pt&nrm=iso>. Acesso em 21 ago. 2018. Epub 17-Jun-2011. <http://dx.doi.org/10.1590/S0103-65132011005000032>.

MONCHY, F. A. **Função Manutenção: Formação para a gerência da manutenção industrial**. São Paulo – SP: DURBAM Ltda./ EBRAS Ltda, 1989.

PINTO, D. **OS OITO PILARES DA TPM**. Disponível em <<https://estudosmecanicos.blogspot.com/2017/01/os-oito-pilares-da-tpm.html>>. Publicado em 22 jan. 2017. Acesso em 22 out. 2018.

PORTAL ACTION. **Distribuição de Weibull**. Disponível em <<https://www.portalaction.com.br/probabilidades/613-distribicao-weibull/>>. Acesso em 09 nov. 2018.

PORTAL ACTION. **Distribuição Exponencial**. Disponível em <<https://www.portalaction.com.br/probabilidades/612-distribicao-exponencial/>>. Acesso em 09 nov. 2018.

PRODANOV, C. C.; FREITAS, E. C. **Metodologia do trabalho científico [recurso eletrônico] : métodos e técnicas da pesquisa e do trabalho acadêmico**. 2ª edição. Novo Hamburgo – RS: Feevale, 2013.

TEMPLUM. **O que é 5S**. Disponível em <<https://certificacaoiso.com.br/5s/>>. Acesso em 22 out. 2018.

VASCONCELOS, F. C; CYRINO, A. B. **VANTAGEM COMPETITIVA: Os modelos teóricos atuais e a convergência entre estratégia e teoria organizacional.** Rev. adm. empres. [online]. 2000, vol.40, n.4, pp.20-37. ISSN 0034-7590. Disponível em: <<http://dx.doi.org/10.1590/S0034-759020000000400003>>. Acesso em 27 set. 2018.

XENOS, H. G. P. **Gerenciando a Manutenção Produtiva.** Belo Horizonte – MG: EDG – Editora de Desenvolvimento Gerencial, 1998.